



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TIMO TURTA

ERGONOMIAN HUOMIOIMINEN TUOTEKEHITYKSESSÄ VAL-
MISTETTAVUUDEN KANNALTA

Diplomityö

Tarkastaja:
professori Kaija Leena Saarela

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja
materiaalitekniikan
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
4. huhtikuuta 2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

TURTA, TIMO: Ergonomian huomioiminen tuotekehityksessä valmistettavuuden kannalta

Diplomityö, 70 sivua, 2 liitesivua

Toukokuu 2012

Pääaine: Turvallisuustekniikka

Tarkastaja: professori Kaija Leena Saarela

Avainsanat: ergonomia, asennusergonomia, tuotekehitys, valmistettavuus, ohjeistus

Tämän diplomityön tavoitteena oli tutkia asennusergonomian nykytilaa Sandvik Mining Oy:n Turun tehtaalla sekä muodostaa ohjeistus asennusergonomian huomioimiseksi tuotekehityksessä. Työssä tarkasteltiin kahden Turun tehtaan valmistuksessa olevan lastauskoneen asennusergonomiaa.

Tarkoituksena oli tutustua ensin ergonomiaan ja tuotekehitykseen liittyvään perusteoriaan kirjallisuuden avulla sekä aiheita yhdistäviin tutkimustuloksiin artikkelien kautta. Ergonomian merkitys ja tiedostaminen yleisesti on lisääntynyt kohdeyrityksessä, joten lähtökohtana oli halu kiinnittää enemmän huomiota myös asennettavuuteen liittyvään ergonomiaan. Tuotekehityksessä ei myöskään ole aiemmin ollut minkäänlaista kirjallista ohjeistusta asennusergonomian huomioimiseksi.

Varsinainen tutkimus aloitettiin muodostamalla kyselylomake asennusergonomiaan liittyvien ongelmien löytämiseksi tuotannosta. Tuloksia kerättiin kyselylomakkeen avulla yhdestä tuotantosolusta ja yhdeltä tuotantolinjalta. Lomakkeilla saatuja tietoja täydennettiin haastattelujen avulla. Kaikki löydetty ongelmakohdat kuvattiin kirjallisesti työssä ja niistä otettiin mahdollisimman havainnollistavat valokuvat. Neljä ongelma-kohtaa käsiteltiin tarkemmin ratkaisujen löytämiseksi. Kaikki ongelmakohdat jaettiin kuuteen eri luokkaan, jotka muodostettiin ongelmien yhteisten piirteiden perusteella. Tämän jälkeen nykytuotekehityksessä työskenteleviä tuoteinsinöörejä haastateltiin. Tarkoituksena oli selvittää tuoteinsinöörien mielipiteitä ja näkemyksiä sekä ohjeen muodosta että ohjeessa huomioitavista asioista. Ohjeistus kehitettiin lopulta etsimällä yhteisiä syitä luokitelluille ongelmille ja ottamalla huomioon tuoteinsinöörien kommentit ja mielipiteet.

Tulosten perusteella tarkastelluissa lastauskoneissa on runsaasti asennusergonomiaan liittyviä ongelmia. Ongelmista ei kuitenkaan tule tietoa tuotekehitykselle asti ennen kuin asennus on käytännössä mahdotonta. Ongelmien keräämiseksi on kehitettävä toimiva järjestelmä ja tiedonkulkua on tehostettava sekä tuotannon ja tuotekehityksen että myös tuotekehityksen ja tuotannon suunnittelun välillä. Tämän tutkimuksen tuloksena saatu ohjeistus on otettava käyttöön tuotekehityksessä ja ohjeistuksen toimivuutta ja hyödyllisyyttä on tarkastettava. Jos ohjeistus on epäkäytännöllinen tai se on muuten hankalasti hyödynnettävissä, sitä on kehitettävä toimivammaksi. Tässä työssä saatuja tuloksia on syytä hyödyntää myös muuten tuotekehityksessä, ja löydetty ongelmakohdat on pyrittävä korjaamaan.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Automation Technology

TURTA, TIMO: Integrating Assembly Ergonomics in Product Development Process

Master of Science Thesis, 70 pages, 2 Appendix pages

May 2012

Major: Occupational Safety Engineering

Examiner: Professor Kaija Leena Saarela

Keywords: Ergonomics, assembly, product development, manufacturing, guideline

The aim of this thesis was to examine the current state of assembly ergonomics in Sandvik Mining Turku and to develop guideline for taking assembly ergonomics into account in product development process. Two loaders manufactured in the Sandvik Mining Turku plant were examined concerning assembly ergonomics.

The goal was to collect both basic theory of ergonomics and product development and research results combining the two subjects. The importance and consideration of ergonomics has generally increased in Sandvik so the starting point was to improve also assembly ergonomics. There has also been no guideline for product development in written form concerning assembly ergonomics.

The actual survey began by forming a questionnaire to find problems in manufacturing concerning assembly ergonomics. The findings were gathered from one production cell and one production line. The people working there were also interviewed to supplement the findings found with the questionnaires. All the findings were described in written and illustrative pictures were attached. Four of the found problems were investigated to find solutions. The found problems were categorized in six categories that were formed based on the common features of the problems. After categorizing the problems the product development engineers were interviewed to find out their thoughts on both the form and the things to consider when forming the guideline. The guideline was finally developed by searching common reasons for the categorized problems and considering the comments and thoughts of the product development engineers.

Based on the results there is much to improve concerning the assembly ergonomics of the loaders examined in this thesis. The product development is not though informed of the problems in manufacturing until the assembly is almost impossible. A functional system to gather this kind of information has to be developed. Also the flow of information between the manufacturing and the product development as well as between the product development and the production development has to be improved. The guideline has to be taken in use and the functionality and the usefulness of the guideline has to be traced in practice. If it is found impractical or otherwise hard to use it has to be improved. Also the most of the other findings gathered in this thesis should be made the most of in product development and measures to amend the problems found should be determined.

ALKUSANAT

Tahdon kiittää kaikkia niitä tahoja, jotka ovat osaltaan mahdollistaneet tämän diplomityön valmistumisen. Kiitos mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta kuuluu Sandvik Miningille ja ohjaajanani toimineelle Jarkko Laineelle. Kiitos kuuluu myös Turun tehtaan tuotannon sekä tuotekehityksen henkilöille, jotka ovat tarjonneet tietonsa ja kokemuksensa työtäni varten. Myös mahtava taukoseura sekä työkaverit ovat auttaneet jaksamaan välillä loputtomalta tuntuvan työn parissa.

Tampereen teknillisestä yliopistosta haluan kiittää professori Kaija Leena Saarelaa, joka on ohjannut työni etenemistä ja lopuksi myös tarkastanut sen.

Suurimmat kiitokset kuuluvat kuitenkin vaimolleni Annalle. Ilman sinua en olisi ikinä löytänyt itseäni yliopistosta, enkä toisaalta taatusti olisi löytänyt sieltä pois. Viimeisenä kiitokset pienelle lidalle, jota ilman tämä matka olisi ollut paljon pidempi.

Turussa 5.4.2012

Timo Turta

SISÄLLYS

Tiivistelmä	i
Abstract	ii
Alkusanat	iii
Termit ja lyhenteet sekä niiden määritelmät	vi
1 Johdanto	1
1.1 Työn tausta	1
1.2 Työn tavoitteet ja rajausta	1
2 Lähtökohdat.....	3
2.1 Työn kuormittavuus	3
2.2 Ergonomia käsitteenä	4
2.3 Ergonomian osa-alueet.....	5
2.4 Ergonomiaan liittyvä lainsäädäntö	6
2.5 Ergonomian arvioiminen ja kehittäminen.....	7
2.6 Tuotteiden suunnittelu.....	10
2.7 Menetelmiä tuotekehitykseen	11
2.7.1 Systemaattinen lähestymistapa.....	11
2.7.2 Stage-Gate -menetelmä	13
2.7.3 TRIZ -menetelmä	15
2.8 Ergonomian lähestymistapoja	18
2.9 Ergonominen suunnittelu	19
2.10 Ergonomian huomioiminen tuotekehityksessä	20
3 Aineisto ja menetelmät.....	22
3.1 Kohdeyritys	22
3.1.1 Sandvik Group.....	22
3.1.2 Sandvik Mining	22
3.1.3 Työssä käsiteltävät konetyypit	23
3.1.4 Tuotekehitysosasto ja sen toiminta.....	24
3.1.5 Projektimalli uustuotekehitykseen.....	25
3.1.6 Nykytuotesuunnittelun toiminta	28
3.1.7 Tuotantosolun toiminta.....	31
3.1.8 Tuotantolinjan toiminta	31
3.2 Työn vaiheet ja tutkimusmenetelmien kuvaus	32
3.2.1 Teoreettinen viitekehys ja kohdeyritys.....	32
3.2.2 Tuotannon kyselylomakkeen muodostaminen	32
3.2.3 Tuotannon kyselyiden kulku ja vastausten määrä	33
3.2.4 Kyselylomakkeilla saatujen tulosten raportointi ja käsittely.....	34
3.2.5 Tuoteinsinöörien haastattelut	34
3.2.6 Tuotesuunnittelun ohjeistuksen muodostaminen	35
4 Tulokset.....	36
4.1 Tuotannon kyselyn monivalintakysymysten vastausten painottuminen	36

4.2	Tuotannon kyselyn kautta nykyvalmistuksessa esille tulleet ongelmat	37
4.2.1	Sähkötoimisen lastarin valmistettavuudesta saadut tulokset.....	37
4.2.2	Dieselmoottorilla varustetusta lastarista saadut tulokset.....	45
4.2.3	Neljän ongelmakohdan tarkastelu	55
4.2.4	Ongelmien jakautuminen luokittain	56
4.3	Tuoteinsinöörien haastatteluista saadut tulokset.....	57
4.4	Tuotesuunnittelun käyttöön tarkoitettu ohjeistus	58
5	Tulosten tarkastelu	61
5.1	Ergonomisten ongelmien painottuminen monivalintakysymyksissä.....	61
5.2	Korjausmahdollisuuksista löydettyihin ongelma-kohtiin.....	61
5.3	Ongelmakohtien luokittelusta ja ohjeistuksen muodostamisesta.....	62
5.4	Ohjeistuksen sijoittuminen tuotekehitysprosessissa	63
5.5	Tulosten hyödyntäminen.....	64
5.6	Ergonomian huomioimisen jatkuva kehittäminen	65
5.7	Tulosten laajuus ja tavoitteiden täyttyminen.....	65
6	Johtopäätökset.....	67
	Lähteet.....	69
	Liite1: Tuotannon kyselylomake	
	Liite2: Virallinen ohje asennusergonomian huomioimiseksi tuotekehityksessä	

TERMIT JA LYHENTEET SEKÄ NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Termi tai lyhenne	Määritelmä
Asennusergonomia	Asentajien työhön tuotteiden kokoonpanossa liittyvää ergonomiaa
Ergonomia	Ihmisen ja järjestelmän ominaisuuksien yhteen sovittamista
Lastauskone, lastari	Kiviaineksen kuormaamiseen tarkoitettu etukauhalla varustettu kone
Nykytuotekehitys	Yrityksen mallistossa olevien tuotteiden parantamiseen tähtäävää suunnittelu ja kehitystyötä
PBS	Product Breakdown Structure; työkalu, jolla tuote pilkotaan pienempiin osiin puumallin avulla.
Uustuotekehitys	Uusien, yrityksen mallistoon tulevien tuotteiden suunnittelu ja kehitystyötä
Vuosimallimuutos	Yrityksen mallistossa olevaan tuotteeseen tehtävä muutosten ja parannusten kokonaisuus
WBS	Work Breakdown Structure; työkalu, jolla pilkotaan koko käsiteltävä systeemi pienempiin osiin ja helpommin hahmotettavaksi.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Ergonomia tunnustetaan nykyään erittäin tärkeäksi osa-alueeksi työssä. Sen onnistunut huomioiminen parantaa osaltaan turvallisuutta ja vaikuttaa merkittävästi työperäisten sairauksien muodostumiseen. Toisaalta ergonomia vaikuttaa myös työn mukavuuteen. Ergonomian onnistuneeseen huomioimiseen vaaditaan ihmisen fyysisten ja psyykkisten ominaisuuksien sovittamista tekniikan kanssa (Launis & Lehtelä 2011). Yhä enenevässä määrin painopisteen pitäisi olla osallistuvassa ergonomiassa, jolloin suunnittelu tapahtuisi eri osa-alueiden asiantuntijoiden tiiviissä yhteistyössä (Sundin et al. 2004).

Sandvik tekee jatkuvasti toimenpiteitä ergonomian parantamiseksi. Sekä tuotannossa että toimistotiloissa tehdään säännöllisin väliajoin ergonomiatarkastuksia ja saatujen tulosten avulla havaittuja puutteita korjataan. Asennusergonomian huomioimiseen suunnittelun näkökulmasta ei ole kuitenkaan vielä juurikaan perehdytty. On myös tiedossa, että kokoonpanossa on olemassa ergonomian kannalta hankalia asennusvaiheita. Tarkkaa tietoa ongelmien yksityiskohdista ei ole ennen kerätty, joten myöskään pahimmista ongelma-alueista ei ole tietoa. Suunnittelun käytössä ei ole tällä hetkellä minkäänlaista kirjallista ohjeistusta ergonomian huomioimiseksi tuotekehityksessä.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän työn ensimmäisenä tavoitteena on tutkia kahden koneen valmistuksessa työskentelevien asentajien näkemyksiä ja mielipiteitä kokoonpanossa esiintyvien ongelmien painopisteistä ja yleisimmistä ongelmatyypeistä. Samalla pyrkimyksenä on myös selvittää konkreettisia asennusvaiheessa olevia ongelmakohtia. Asentajat saavat itse esittää omat näkemyksensä mahdollisiksi korjaaviksi toimenpiteiksi. Ongelmakohtista neljän osalta toteutetaan tarkempi tarkastelu toteuttamiskelpoisten ratkaisujen löytämiseksi.

Tuotannossa toteutettavat tutkimukset rajataan koskemaan vain kahta konetyyppiä. Konetyypeiksi on kuitenkin valittu yksi sähköllä toimiva ja yksi dieselmoottorilla toimiva kone, jotta tuloksia saataisiin molemmista konetyypeistä. Kyseessä olevat koneet ovat Sandvikin Turun tehtaalla valmistettavia lastauskoneita eli lastareita. Työssä ei tarkastella työpisteen ergonomiata, kuten valaistusta ja työstä aiheutuvia ääniä, vaan huomio on puhtaasti asennusergonomiassa.

Toisena tavoitteena on muodostaa uusi ohjeistus suunnittelijoille, jotta asennusergonomiata olisi mahdollista huomioida paremmin nykytuotesuunnittelussa. Ohjeistuksen laatimisen taustana on tarkoitus käyttää tuotannosta löytyneitä tuloksia. Myös nykytuotekehityksen henkilöstöä haastatellaan, jotta ohjeistuksesta saadaan mahdollisimman

hyödyllinen ja käyttökelpoinen. Työ toteutetaan nykytuotteiden suunnitteluun, mutta ohjeistuksesta pyritään muodostamaan myös uustuotesuunnitteluun soveltuva. Ohjeistus ja siihen liittyvät tutkimukset rajataan koskemaan vain tuotekehitystä, mutta huomioita esitetään myös rinnakkaisista toiminnoista kuten tuotannonkehityksestä.

Viimeisenä työssä pohditaan työn tavoitteiden saavuttamista ja sitä, kuinka hyvin saavutetut tulokset kuvaavat vallitsevaa tilannetta. Lopuksi annetaan myös suosituksia tarpeellisista jatkotoimenpiteistä ja tutkimuksen uusimisesta.

2 LÄHTÖKOHDAT

2.1 Työn kuormittavuus

Työssä esiintyy tiettyjä tekijöitä, jotka vaikuttavat työntekijän fyysiseen terveyteen ja työkykyyn. Tällaisia tekijöitä kutsutaan kuormitustekijöiksi. Niitä ovat muun muassa työmenetelmät, työasennot, työn fyysinen raskaus, työssä vaadittava tarkkaavaisuus, työvälineet sekä työympäristön, työyhteisön ja työntekijän ominaispiirteet. Yleensä ihmisen väsymiseen tai sairastumiseen ei pystytä kuitenkaan nimeämään näistä vain yksittäistä syytä. (Työturvallisuuskeskus 2003)

Ihmisen hyvinvoinnin kannalta tietty kuormitus on välttämätöntä. Kuitenkin liian vähäisenä tai liiallisena kuormitus voi aiheuttaa terveydellisiä haittoja. Liiallinen kuormittuneisuus aiheuttaa yksilöllisiä oireita. Terve ihminen voi kestää voimakastakin kuormitusta lyhyen aikaa, mutta tavoitteena on sopiva kuormitus, jolloin riittävä palautuminen on mahdollista. Työn kuormittavuuteen voidaan vaikuttaa työn monipuolisuudella ja tauotuksella sekä jaksotuksella vaativampiin ja helpompiin tehtäviin. (Työturvallisuuskeskus 2010)

Ihmisen kuormittumiseen vaikuttaa sekä fyysinen että psykososiaalinen kuormitus. Liikuntaelimestöön sekä hengitys- ja verenkiertoelimestöön kohdistuvaa kuormitusta kutsutaan fyysiseksi kuormitukseksi. Näihin vaikuttavia ruumiillisia kuormitustekijöitä ovat työasennot, työliikkeet, liikkuminen ja fyysisen voiman käyttö. Sopivaa fyysistä kuormitusta suunniteltaessa on otettava huomioon myös ihmisen terveys ja toimintakyky. Sopivan kuormituksen saavuttaminen helpottuu tilojen ja työprosessien hyvällä suunnittelulla, tarpeellisten apuvälineiden hankkimisella sekä niiden osaavalla käytöllä. Sopivia kohteita fyysisen kuormituksen arviointiin ovat työvaiheet, lihastyön laatu ja määrä, työasennot ja liikkeet, työssä käytettävät koneet ja laitteet sekä muut työvälineet ja kalusteet, lämpöolosuhteet, valaistus, ääniolosuhteet, työn organisointi, tehtäväkokoisuus, työn jaksotus ja osatehtävät, tauotus ja elpyminen sekä työntekijän toimintakyky ja yksilölliset ominaisuudet. (Työturvallisuuskeskus 2010)

Psykososiaalinen kuormitus liittyy sosiaalisiin kontakteihin, työyhteisön kulttuuriin, työilmapiiriin, arvoihin ja normeihin, vastuun jakoon sekä työn sisältöön. Jos työ on motivoivaa ja sopivasti haasteellista, ja kiireellisempien aikojen vastapainoksi on rauhallisempia hetkiä, tilapäinen aikapaine ei ole haitallista. Kun työssä on riittävästi myönteisiä voimavaratekijöitä, työn vaatimuksia on helpompi kohdata. Tällaisessa työn imussa kuormitustakin on helpompi sietää. Psykososiaalista kuormitusta voidaan arvioida raporttien, dokumenttien ja tilastojen, tarkistuslistojen, haastattelujen ja kyselyjen, havainnointien, ryhmämenetelmien sekä yksilötutkimusten ja testien avulla. (Työturvallisuuskeskus 2010)

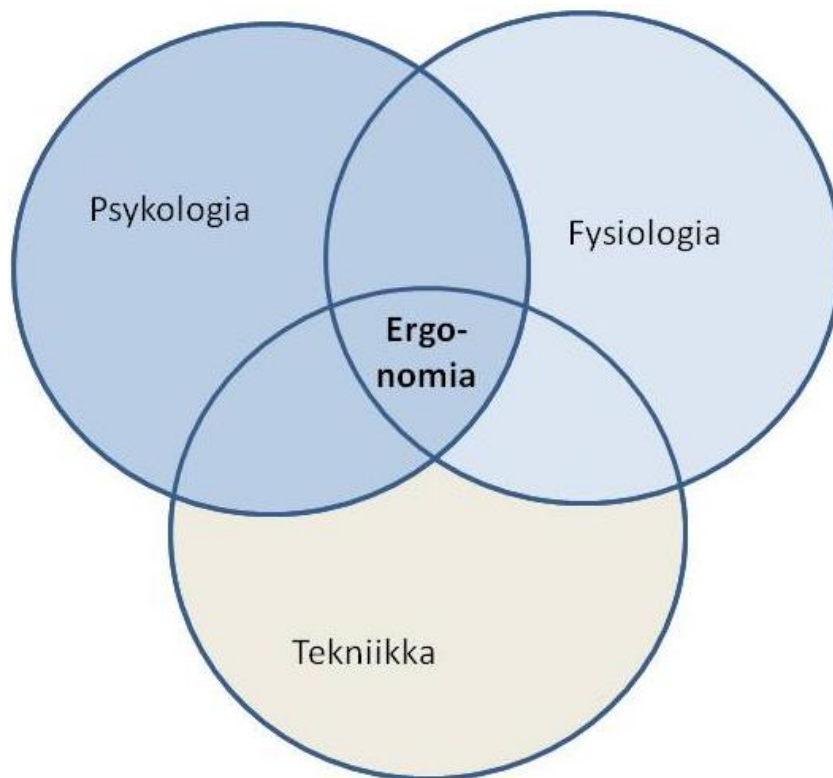
Myös Työterveyslaitos(2011a) on antanut hyvälle työlle samanlaiset tunnusmerkit. Hyvä työ ei vaaranna ihmisen ruumiillista tai henkistä terveyttä. Työ kuormittaa sopivasti, eikä haittaa terveyttä tai hyvinvointia pitkänkään ajan kuluessa. Työ on monipuolista ja haastavaa, jolloin siinä voi käyttää erilaisia kykyjä ja kehittää itseään. Se on myös itsenäistä ja tavoitteista, tekemistavasta ja ajankäytöstä voi itse päättää. Kun työn tuloksen näkee tai siitä saa palautteen, siinä voi kokea aikaansaamisen ja onnistumisen tunteen. Työssä on voitava pitää myös yhteyttä toisiin työntekijöihin ja saada heiltä tukea. (Työterveyslaitos 2011a)

2.2 Ergonomia käsitteenä

Ergonomia on ihmisen ja toimintajärjestelmän välisen vuorovaikutuksen tutkimista ja kehittämistä. Toisin sanoen ergonomia on tietoa niistä ihmisen ominaisuuksista, jotka on otettava huomioon toimivaa toimintaympäristöä suunniteltaessa. Ergonomian avulla työ, työvälineet, työympäristö ja koko muu toimintajärjestelmä muokataan sopimaan käyttäjälle. Siten ergonomian käsitteeseen sisältyy myös menetelmiä, joiden avulla ihmisen ja toimintojen sovittaminen onnistuu. Ergonominen toiminta on kokonaisvaltaista ja tietoa sovelletaan kaikkeen inhimilliseen toimintaan. (Työterveyslaitos 1992; Työturvallisuuskeskus 2003; Väyrynen et al. 2004; Launis & Lehtelä 2011)

Ergonomisen toiminnan tavoitteena on kehittää toiminta vastaamaan mahdollisimman hyvin ihmisen ominaisuuksia ja tarpeita siten, että kaikki ennakoidusta käyttäjäkunnasta voisivat käyttää laitetta. Yleisesti tähän tavoitteeseen kuuluu myös eri tavoin toimintarajoitteisten kuten ikääntyneiden, aistivammaisten ja liikuntaesteisten huomiointi mahdollisimman laajasti. Ihmisen ja tekniikan yhteistoiminta pyritään saamaan tehokkaaksi, laadukkaaksi ja häiriöttömäksi. Samalla ihmisten turvallisuus, terveys, hyvinvointi ja kehittyminen paranevat. (Työturvallisuuskeskus 2003; Launis & Lehtelä 2011)

Ergonominen ajattelu perustuu toimintatilanteen tarkasteluun kokonaisuutena. Ajattelu, aistitoiminta ja muu psykologinen toiminta vaikuttavat kaikki työn kokemiseen, hallintaan ja kuormittavuuteen. Samalla tavalla ihmisen fyysiset ominaisuudet muodostavat oman osansa työn kokemiseen. Niin ikään myös tekninen järjestelmä, työtehtävät ja koko työprosessi muodostavat oman kokonaisuutensa. Näiden kolmen osan yhtymäkohtaan voidaan ajatella ergonomia. Jokainen osatekijä vaikuttaa järjestelmän toimintaan, joten muutos missä tahansa tekijässä voi muuttaa toimintaa ratkaisevasti. Ergonomian muodostuminen näistä kolmesta tekijästä on esitetty kuvassa 2.1. (Launis & Lehtelä 2011)



Kuva 2.1. Ergonomian muodostuminen. (Launis & Lehtelä 2011)

2.3 Ergonomian osa-alueet

Ergonomiaa voidaan tarkastella eri näkökulmista. Ergonomian tiedollinen perusta muodostuu ihmisen fyysisestä ja psyykkisestä toiminnasta teknisiä ratkaisuja käytettäessä. Siten ergonomia voidaan jakaa fyysisen ergonomian, kognitiivisen ergonomian ja organisaatioergonomian osa-alueisiin. (Launis & Lehtelä 2011)

Fyysisessä ergonomiassa muokataan fyysisistä toimintaa vastaamaan ihmisen anatomisia ja fysiologisia ominaisuuksia. Työympäristön, työpisteiden, työvälineiden ja työmenetelmien tarvitaan fyysisen ergonomian tietämystä.

Kognitiivisessa ergonomiassa taas pyritään huomioimaan ihmisen tiedonkäsittelyn ominaispiirteet järjestelmien ja niiden käyttöliittymien suunnittelussa. Kognitiivisen ergonomian merkitys korostuu etenkin näyttöihin ja ohjaimiin liittyvän tiedon esittämistavoissa.

Organisatorinen ergonomia liittyy sosiotekniseen järjestelmään. Siinä tavoitteena on yhdistää sosiaalinen ja tekninen järjestelmä toimivasti. Organisatorinen ergonomia näkyy esimerkiksi henkilöstön, työprosessien, työkokonaisuuksien ja työaikajärjestelyjen suunnittelussa. Se liittyy kuitenkin myös tuotannon ja palvelujen kehittämiseen sekä henkilöstön yhteistyön kehittämiseen. (Työturvallisuuskeskus 2010, Launis & Lehtelä 2011, Työterveyslaitos 2011)

2.4 Ergonomiaan liittyvä lainsäädäntö

Työnantajan on lain mukaan huolehdittava työntekijän turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Tähän liittyen työnantajan on parannettava työolosuhteita ennakoitavissa olevien haittojen osalta. Työturvallisuuslaissa(738/2002) mainitaan neljä periaatetta, joita on mahdollisuuksien mukaan noudatettava:

1. Vaara- ja häirtatekijöiden syntyminen estetään
2. Vaara- ja häirtatekijät poistetaan tai, jos tämä ei ole mahdollista, ne korvataan vähemmän vaarallisilla tai vähemmän häirtallisilla
3. Yleisesti vaikuttavat työsuojelutoimenpiteet toteutetaan ennen yksilöllisiä
4. Tekniikan ja muiden käytettävissä olevien keinojen kehittyminen otetaan huomioon.

Työnantajan on selvitettävä järjestelmällisesti työssä ilmeneviä häirta- ja vaaratekijöitä, ja pidettävä tiedot ajan tasalla. Selvitystyössä on huomioitava työssä ilmenevät vaara- ja häirtatekijät, jotka voivat aiheuttaa tapaturman tai vaikuttaa muuten terveyteen. Esiintyneet tapaturmat, ammattitaudit ja työperäiset sairaudet sekä vaaratilanteet on myös huomioitava. Muita huomioon otettavia asioita ovat työntekijän henkilökohtaiset edellytykset, työn kuormitustekijät ja mahdollinen lisääntymisterveydelle aiheutuva vaara. (Työturvallisuuslaki 738/2002)

Työntekijöiden turvallisuus ja terveys on huomioitava myös työympäristöä ja itse työtä suunniteltaessa. Työympäristön rakenteet, työtilat, työ- ja tuotantomenetelmät, työssä käytettävät koneet, työvälineet ja muut laitteet sekä terveydelle vaaralliset aineet voivat vaikuttaa työntekijöiden turvallisuuteen ja terveyteen, joten niiden vaikutukset on otettava huomioon. Näiden tekijöiden on myös oltava aiottuun tarkoitukseen sopivia. Tarvittaessa järjestelyissä on otettava huomioon vammaiset tai muut henkilöt, joiden työskentely ja terveyden ja turvallisuuden varmistaminen edellyttää erityisiä toimenpiteitä. Niin ikään työn suunnittelussa ja mitoituksessa on huomioitava työntekijöiden henkiset ja fyysiset ominaisuudet, jotta kuormitustekijöistä aiheutuvaa häirtaa tai vaaraa voidaan vähentää tai välttää. (Työturvallisuuslaki 738/2002)

Laki määrää myös työntekijälle velvollisuuksia. Työntekijän on lain mukaan noudatettava työnantajalta saamia ohjeita ja määräyksiä sekä toimittava tarvittavalla varovaisuudella ja huolellisuudella. Työntekijän on mahdollisuuksien mukaan poistettava ilmeiset välitöntä vaaraa aiheuttavat viat ja puutteet. Kaikista havaituista vioista ja puutteista on ilmoitettava viipymättä työnantajalle. Jos työstä aiheutuu vakavaa vaaraa työntekijän tai muiden henkilöiden hengelle tai terveydelle, työntekijällä on oikeus pidättäytyä työn tekemisestä. (Työturvallisuuslaki 738/2002)

Työpisteen ergonomian, työasentojen ja työliikkeiden osalta Työturvallisuuslaissa(738/2002) määrätään, että työn luonne ja työntekijän edellytykset on otettava huomioon työpisteen rakenteiden ja työvälineiden valinnassa, mitoituksessa ja sijoittelussa. Niiden on oltava mahdollisuuksien mukaan säädettävissä ja järjesteltävissä uudelleen ja

niiden on mahdollistettava työn teko ilman terveydelle haitallista tai vaarallista kuormitusta. Näiden lisäksi laissa annetaan neljä huomioon otettavaa seikkaa:

1. Työntekijällä on oltava riittävästi tilaa työn tekemiseen ja mahdollisuus vaihdella työasentoa
2. Työtä kevennetään tarvittaessa apuvälineillä
3. Terveydelle haitalliset käsin tehtävät nostot ja siirrot tehdään mahdollisimman turvallisiksi, milloin niitä ei voida välttää tai keventää apuvälinein
4. Toistorasituksen työntekijälle aiheuttama haitta vältetään tai, jollei se ole mahdollista, se on mahdollisimman vähäinen

Myös valtioneuvoston päätös käsin tehtävistä nostoista ja siirroista (1409/1993) velvoittaa työnantajan hankkimaan asianmukaisia välineitä, jotta työntekijän ei tarvitse käsitellä taakkoja käsin. Päätöksessä veloitetaan järjestelemään työpiste siten, että nostot ja siirrot ovat mahdollisimman turvallisia. Erityisesti selän vahingoittumisen vaaraa on vältettävä ja vähennettävä. Työntekijöille on tarjottava opastusta ja ohjeistusta taakojen oikeasta käsittelystä sekä vaaroista, jotka voivat ilmetä väärän käsittelyn takia. Mahdollisuuksien mukaan työntekijöille on myös annettava taakan paino ja epäkeskisesti pakatun taakan painopiste. (Valtioneuvoston päätös käsin tehtävistä nostoista ja siirroista työssä 1409/1993)

Työn kuormitustekijöitä on vältettävä ja vähennettävä, jos työntekijän terveys vaarantuu. Työnantajan on ryhdyttävä heti käytettävissään oleviin keinoihin kuormitustekijöiden selvittämiseksi, jos työntekijän todetaan kuormittuvan työssään. (Työturvallisuuslaki 738/2002)

2.5 Ergonomian arvioiminen ja kehittäminen

Työterveyslaitos(2011a) antaa erilaisia menetelmiä ergonomian arvioimiseen ja kehittämiseen:

- Tyytyväisyys työympäristöön
- Työpaikan ergonomia
- Työpaikan ergonomian tarkastusohje
- Esteetön työelämä -arviointilomake
- Toisto-Repe

Tyytyväisyys työympäristöön viittaa taustatietojen hankintaan ergonomisen hankkeen alussa. Tarkoituksena on tunnistaa ongelmia ja kehittämistarpeita esimerkiksi rekisterien, tilastojen ja raporttien tai haastattelujen ja kyselyjen avulla. Kyselyissä voidaan painottaa kohteen mukaan haluttuja seikkoja liittyen työympäristöön ja käytössä oleviin työvälineisiin. (Työterveyslaitos 2011a)

Kyselyissä hyviä huomioitavia osa-alueita ovat esimerkiksi valaistus, lämpötila, äänet, työtilan ratkaisut ja työkalut. Nämä ovat arvioitavissa sen perusteella, kuinka hyvinä kutakin asiaa työntekijä pitää. Kyselyssä voidaan pyytää arvioimaan myös, kuinka paljon jotkin tekijät vaikuttavat tapaturmavaaraan tai hyvän ergonomian saavuttamiseen. Myös avointen kysymysten asettelu on mahdollista. Vastausten pohjalta voidaan tehdä kuvaaja, josta on helppo nähdä pahimmat tyytymättömyyden kohteet ja ongelma-kohtat. (Työterveyslaitos 2011a)

Työpaikan ergonomia on yleinen selvitysmenetelmä, joka voidaan räätälöidä käyttäjän ja toiminnan mukaan sopivaksi. Menetelmä on suunnattu työsuojelu- ja työterveyshuoltohenkilöstölle ja työntekijöille. Selvitys tehdään havainnoimalla ja keskustelemalla työntekijöiden ja työnjohdon kanssa. Selvityksessä käydään läpi 13 eri osiota:

1. Työtilan kokonaisjärjestelyt
2. Työtehtävät ja työn sisältö
3. Tauotus
4. Työpisteen ominaisuudet
5. Laitteiden ohjaimet ja näytöt, tiedonkäsittely
6. Työkalut ja työliikkeet
7. Tuotteen ominaisuudet
8. Nostaminen ja kantaminen
9. Valaistus
10. Lämpöolot
11. Ääniolot
12. Työn opastus ja ohjeistus
13. Muita arvioitavia tekijöitä

Selvityksessä kirjataan työlomakkeille työpisteissä olevat hyvät ja huonot ratkaisut, työpisteeseen jo selvityksen aikana tehdyt muutokset, muutosehdotukset, joita ei vielä toteutettu ja kuka ne hoitaa, sekä ratkaisematta jääneet ongelmat ja niiden hoitaminen. Arviointi tehdään kolmi- tai viisiportaisesti. Yleensä kuitenkin kolmiportainen arviointi riittää. (Työterveyslaitos 2002, Työterveyslaitos 2011a)

Työpaikan ergonomian tarkastusohje on apuväline välittömien työpisteestä, -menetelmästä tai ympäristöstä johtuvien terveysvaarojen vähentämiseksi. Tarkastusohje soveltuu etenkin teollisille työpaikoille. Tarkastusohje antaa hyvän lähtökohdan työolojen parantamiselle. Menetelmässä kiinnitetään huomiota työn sisältöön ja kehittävyys-teen, työntekijän mahdollisuuksiin vaikuttaa omaan työhönsä sekä yhteistyöhön työpaikkojen suunnittelussa ja kehittämisessä. Menetelmä on tarkoitettu työsuojeluhenkilöstölle, suunnittelijoille, esimiehille, työntekijöille ja työterveyshuoltohenkilöstölle. Tarkastusohje on kuitenkin vain suppea perusohje. (Työterveyslaitos 2009, Työterveyslaitos 2011a)

Ohjeen mukaan suunnittelijan pitäisi tutustua työpaikkoihin, työmenetelmiin ja työorganisaatioon, ottaa huomioon työntekijöiden ikä, sukupuoli, koulutus ja kokemus sekä

pyrkii yhteistyöhön käyttäjien kanssa. Esimiehen pitäisi kerätä kokemuksia onnistuneista ratkaisuista, välittää kokemukset työpaikkojen suunnitteluun, tutustua ajoissa suunnitelmiin ja tiedottaa niistä asianomaisille sekä järjestää työntekijöille tilaisuus osallistua suunnitteluun. Työntekijän tehtäväksi jää havainnoida työpaikan puutteita, kertoa havainnoista esimiehille ja suunnittelijoille sekä esittää korjaus- ja parannusehdotuksia. (Työterveyslaitos 2009, Työterveyslaitos 2011a)

Työterveyslaitoksen(2009) mukaan työpaikan ergonomian tarkastusohje jaetaan kuuteen osaan:

1. Yksipuolinen ja pakkotahtinen työ
2. Lihastyö
3. Työliikkeet
4. Seisominen
5. Istuminen
6. Ympäristöolot

Esteetön työelämä -arviointilomake on tarkoitettu työpaikan esteettömyyden selvittämiseen. Se soveltuu työntekijän, esimiehen, työterveyshuollon ja kuntoutuksen yhteiseksi työvälineeksi. Esteettömyyden arviointi suoritetaan havainnoimalla henkilön työtä ja toimintaa sekä haastatteleamalla henkilöä. Toisaalta, jos työntekijä täyttää lomakkeen itsenäisesti etukäteen, sitä voidaan käyttää yhteisen keskustelun pohjana. Lomakkeessa huomioidaan työntekijän koko työpäivä ja työmatkat. (Työterveyslaitos 2011a)

Työpaikan esteettömyys tarkoittaa työpaikkarakennuksen saavutettavuutta, liikkumis- ja toimimiseesteettömyyttä rakennuksessa, ergonomista työympäristöä, joustavaa työn organisointia, tasa-arvoista kohtelua, helppokäyttöisiä työvälineitä ja kaikkien saavutettavissa olevia palveluita. Arviointi tehdään jokaisen henkilön omien kokemusten ja aiheeseen liittyvien suositusten perusteella. Arviointilomakkeeseen kuuluu henkilön taustatietojen selvitys sekä 30 esteettömyyteen liittyvää kysymystä. Kysymyksiin vastataan vaihtoehtoilla ”Kunnossa” tai ”Ei kunnossa”. (Työterveyslaitos 2011a)

Toisto-Repe on menetelmä toistotyön arviointiin. Siinä tunnistetaan havainnoimalla ja haastatteleamalla toistoa sisältävät työtehtävät sekä vaarat työntekijän terveydelle. Menetelmä on tarkoitettu ensisijaisesti toistotyöhön liittyvien yläraajoihin kohdistuvien kuormitustekijöiden arviointiin työsuojelutarkastajille sekä työterveyshuolto- ja työsuojeluhenkilöstölle. (Työterveyslaitos 2011)

Toisto-Repeessä on käytössä arviointilomake, jossa arviointikohdat arvioidaan vaihtoehtoilla ”kunnossa”, ”osittain kunnossa” tai ”ei kunnossa”. Joka kohtaan liittyen on varattu myös tilaa muistiinpanoille. Lomakkeessa arvioidaan itse yhdeksän työhön liittyvää aihetta:

1. Työpisteen ominaisuudet
2. Lämpöolot

3. Käsityökalut
4. Tärinä
5. Käsineet
6. Työliikkeen toistuvuus
7. Voiman käyttö
8. Asento
9. Mekaaninen paine

Näiden lisäksi lomakkeessa on kolmen aiheen osalta kysymyksiä:

10. Työpuheen ominaisuudet
11. Työjärjestelyt
12. Opastus

Kaikkien kohtien arviointiohjeet ovat lomakkeessa. Tulosten perusteella lasketaan indeksi, joka kertoo, kuinka suuri prosentuaalinen osa arvioitavista kohdista on kunnossa. Yli 80 prosenttia on hyvä, 60 - 80 prosenttia vaatii jo korjausta ja alle 60 prosenttia on huono tulos. (Työterveyslaitos 2011a)

2.6 Tuotteiden suunnittelu

Tuotteiden suunnittelu voidaan jakaa tekniseen suunnitteluun ja teolliseen suunnitteluun. Tekninen suunnittelu tarkoittaa muun muassa tuotteen mekaanisten ominaisuuksien, lämmöntuoton, valmistuskustannusten ja kestävyys huomioimista. Keskeisimmät teknisen suunnittelun tuloksena syntyvät tiedot ovat, miten laite toimii ja miten se valmistetaan. Teollisen suunnittelun lähtökohdista on muodostaa ne tuotteen ominaisuudet, jotka luovat kuluttajille oikeat mielikuvat ja tekevät tuotteesta ympäristöönsä sopivan. Suunnitteluprosessi muodostuu sekä teknisestä että teollisesta suunnittelusta. (Johnson 2010)

Suunnitteluprojekti voidaan aloittaa erilaisista lähtökohdista. Pahl et al. (2007) jakaa projektit kolmeen osaan:

- Uuden tuotteen suunnittelu
- Olemassa olevan tuotteen parantelu
- Olemassa olevan tuotteen muuntelu

Uuden tuotteen suunnittelussa tunnettuja ratkaisuperiaatteita käytetään uudella tavalla tehtävien ja ongelmien ratkaisemiseen. Toiminta perustuu joko keksintöön tai innovaatioon. Keksintö on jotain aidosti uutta ja se perustuu usein viimeisimpään tieteelliseen tietoon. Innovaatio taas voi hyödyntää olemassa olevia ratkaisuja, mutta sen avulla tuotteen sovellusalue ja ominaisuudet laajenevat ja paranevat.

Olemassa olevan tuotteen parantelu tarkoittaa sitä, että tuote muokataan vastaamaan paremmin uusia vaatimuksia ja rajoitteita. Ratkaisuperiaatetta ei kuitenkaan muuteta.

Olemassa olevan tuotteen muuntelussa aiemmin suunnitellut rajat ja rakenteet määrittävät edelleen vaatimukset tuotteelle, mutta muotoa ja rakennetta on muuten mahdollista muuttaa. Toiminta ja ratkaisuperiaate pysyvät ennallaan.

Ulrich & Eppinger (2008) antaa taas neljä erilaista suunnitteluprojektin tyyppiä:

- Uuden tuoteplatformin kehittäminen
- Olemassa olevan platformin jatkokehittely
- Olemassa olevan tuotteen parantelu
- Täysin uudet tuotteet

Uuden tuoteplatformin kehittäminen tarkoittaa uuden useata tuotetta varten suunnitellun alustan luomista. Näin pystytään muodostamaan kokonainen tuoteperhe hyödyntäen mahdollisimman pitkälle samaa alustaa eli platformia. Tarkoituksena on suunnata tuoteperhe tutuille markkinoille ja tuotekategorioille.

Olemassa olevan platformin jatkokehittelyssä alustaa muokataan siten, että pystytään vastaamaan paremmin tuttujen markkinoiden vaatimuksiin. Käytännössä platformia laajennetaan ja markkinoille tuodaan yksi tai useampi uusi tuote.

Olemassa olevan tuotteen parantelu tähtää tuotteiden pitämiseen ajantasaisina ja kilpailukykyisinä. Tällaisissa projekteissa tuotteisiin voidaan tehdä pieniä lisäyksiä tai joitain ominaisuuksia voidaan muokata.

Täysin uudet tuotteet sisältävät yrityksen kannalta suurimmat riskit, mutta samalla niiden avulla voi saavuttaa suuria voittoja ja merkittävää kilpailuetua. Tällaisiin projekteihin sisältyy radikaalisti uusia tuotteita tai valmistusteknologioita ja niiden avulla on mahdollista päästä uusille ja tuntemattomille markkinoille. Pitkällä aikavälillä yrityksen menestys voi riippua suuresti tällaisista projekteista ja niistä opituista asioista.

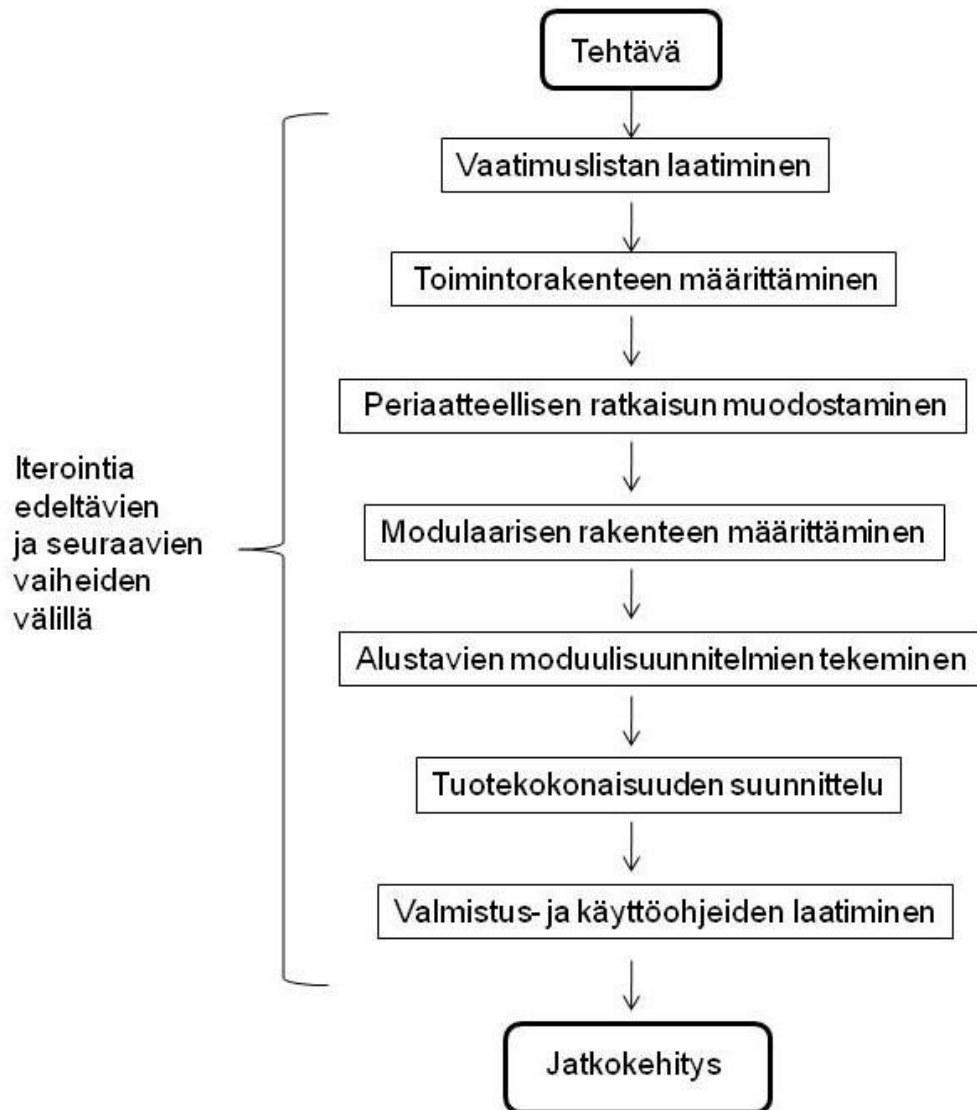
2.7 Menetelmiä tuotekehitykseen

2.7.1 Systemaattinen lähestymistapa

Pahl et al. (2007) on kehittänyt suunnitteluun seitsemän eri vaihetta sisältävän systemaattisen lähestymistavan. Menetelmä soveltuu erityisesti uusien tuotteiden suunnitteluun. Suunnittelun lähtökohtana on tarpeen mukaisesti muodostettu tehtävä. Tehtävälle määritetään ensimmäisenä niin kutsuttu vaatimuslista. Vaatimuslistaan merkitään kaikki tehtävään vaikuttavat vaatimukset niin valmistuksen, materiaalien kuin lopullisen käytönkin osalta. Suunnitteluprosessissa on huomioitava kaikki vaatimuslistaan merkityt kohdat ja listaa on myös tarpeen tullen täydennettävä suunnittelun edetessä. Vaatimuslistan muodostamisen jälkeen määritetään tuotteen toiminnot ja toimintorakenne. Tämä

tehdään muotoilemalla keskeiset ongelmat ymmärrettävään ja selkeään muotoon. Ongelmiin muodostetaan ratkaisuvaihtoehtoja ja niitä yhdistelemällä ja muokkaamalla kehitetään periaatteellinen ratkaisu. Toimintorakenteen ja periaatteellisen ratkaisun muodostaminen voi vaatia jo konkreettista hahmottelua kuten materiaalien valintaa, dimensioiden hahmottelua ja teknisten ratkaisumahdollisuuksien tarkastelua. Konkreettista hahmottelua pitäisi kuitenkin pyrkiä välttämään liian alkuvaiheessa suunnitteluprojektia. (Pahl et al. 2007)

Periaatteellisen ratkaisun jälkeen muodostetaan tarpeen mukainen moduulirakenne. Moduulirakenteen muodostamisen jälkeen moduuleja voidaan alkaa alustavasti suunnittelemaan. Samalla muodostuu myös koko tuotteen alustava rakenne. Rakennevaihtoehtoja voi olla useita ja niistä on valittava paras. Vaihtoehtoja on tarkasteltava siten, että kaikkien vaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet paljastuvat, jolloin on mahdollista myös yhdistellä vaihtoehtoja. Näin saadaan lopulta muodostettua tuotekokonaisuus. Viimeisenä laaditaan perusteelliset valmistus- ja käyttöohjeet. Menetelmän perustana on, että vaiheiden välillä tapahtuu jatkuvaa iterointia ja ratkaisua parannellaan koko suunnitteluprosessin aikana. Tuotetta voidaan jatkokehittää vielä varsinaisen suunnitteluprosessin jälkeenkin. (Pahl et al. 2007) Suunnitteluprosessin kulku on esitetty kuvassa 2.2.



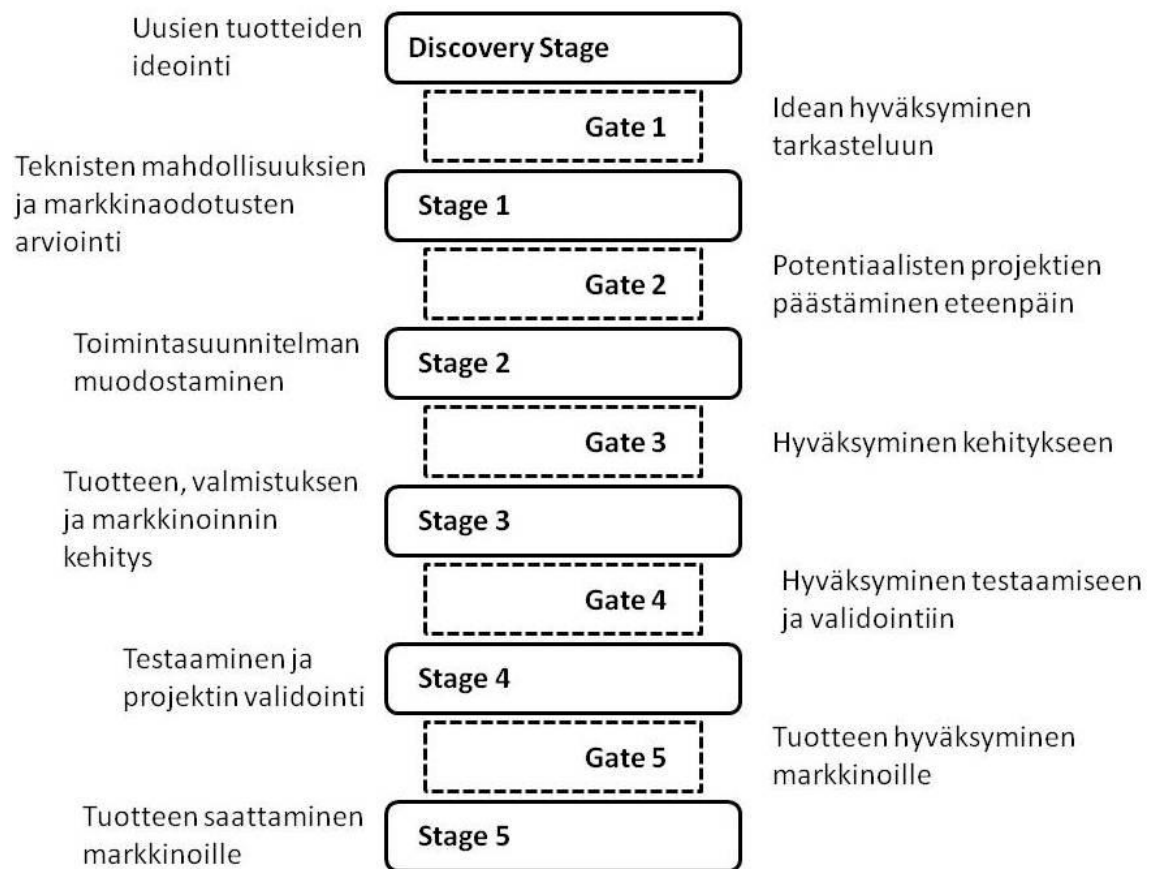
Kuva 2.2 Systemaattisen suunnitteluprosessin kulku (mukaillen Pahl et al. 2007)

Systemaattinen lähestymistapa tukee ajatusta, jonka mukaan ratkaisumahdollisuuksia löydetään tehokkaammin järjestelmällisen ja loogisen suunnitteluprosessin avulla. Toisaalta järjestelmällisyys ei kuitenkaan saa häiritä prosessia, ja luovuutta ei saisi rajoittaa. Prosessia pitäisi kehittää siten, että se tukisi mahdollisimman hyvin suunnittelijan omia kykyjä ja mahdollisuuksia kehittää hyviä ratkaisuja. (Pahl et al. 2007)

2.7.2 Stage-Gate -menetelmä

Stage-Gate -menetelmä on kehitetty helpottamaan tuotteiden saattamista ideasta valmiiksi markkinoille vietäväksi tuotteeksi. Menetelmässä prosessi jaetaan erillisiin vaiheisiin(stages) ja niiden välillä oleviin portteihin(gates), joissa tehdään päätös siitä, miten prosessi jatkuu. Vaiheet on tarkoitus toteuttaa monipuolista asiantuntemusta sisältävien ryhmien toimesta. Kun määritellyt tehtävät on suoritettu, projektin johto päättää, voidaanko seuraava portti ohittaa ja siirtyä seuraavaan vaiheeseen. Varsinainen toiminta tapahtuu siis vaiheissa ja portit toimivat tarkastuspisteinä, joissa määritetään projektin

jatko. (Product Development Institute Inc. 2011) Menetelmän periaate on esitetty kuvassa 2.3.



Kuva 2.3 Stage-Gate -mallin eteneminen (mukaillen Product Development Institute Inc. 2011)

Jokaisen tason ja portin rakenne on aina samanlainen. Tasoilla ryhmä toimii johtajansa alaisena valmiiksi määritellyn projektisuunnitelman mukaisesti. Ryhmä tuottaa monitasoisen analyysin kaikesta toiminnastaan. Toimintojen ja analyysin jälkeen tuloksista muodostetaan esitys, jonka perusteella tehdään päätökset jatkosta eli voidaan edetä portin toimintoihin. Portilla tasolta tulleita tuloksia arvioidaan sekä taloudellisten että laadullisten arviointikriteerien mukaan. Tuloksena annetaan selkeä kuvaus jatkosta: projekti voidaan lähettää seuraavalle tasolle, se voidaan lakkauttaa kokonaan, se voidaan jättää odottamaan sopivampaa ajankohtaa tai se voidaan lähettää takaisin edelliselle tasolle (go/kill/hold/recycle). (Product Development Institute Inc. 2011)

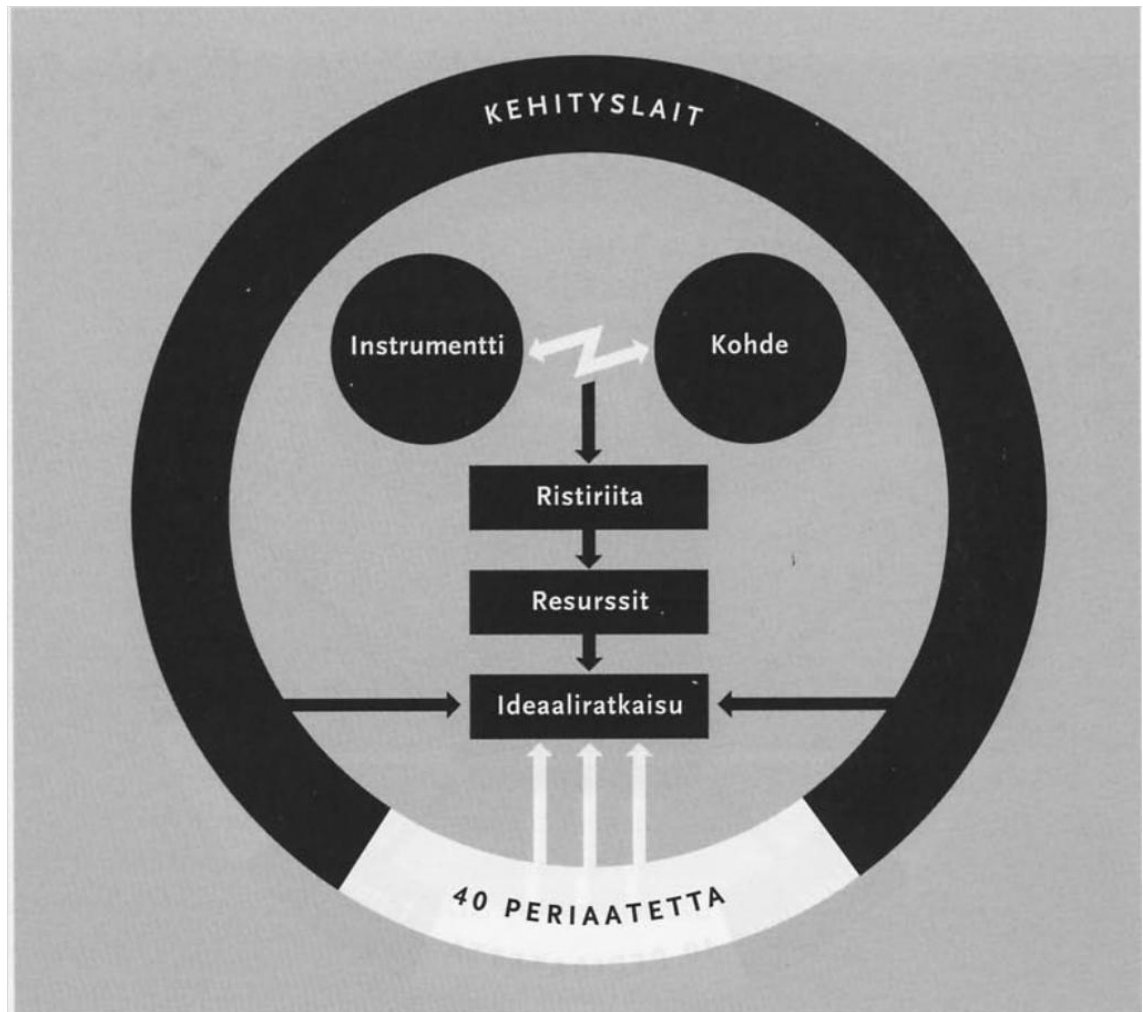
Prosessi lähtee liikkeelle toiminnalla, jolla pyritään löytämään uusia mahdollisuuksia ja tuoteideoita. Ideointia voidaan tehdä tarkoitukseen sopivilla menetelmillä. Toiminnan voidaan sanoa tapahtuvan nollassa. Ensimmäisellä portilla tehdään päätös siitä, onko idea uusi ja riittävän merkittävä päästettäväksi edes lähempään tarkasteluun. Ensimmäisellä tasolla tehdään nopea ja edullinen arvio projektin teknisistä edellytyksistä ja markkinaodotuksista. Jos nämä edellytykset ovat hyvät, projekti voidaan päästää toisen portin läpi. Toisella tasolla muodostetaan projektille toimintasuunnitelma. Tämä

määrittää lopulta sen, onnistuuko projekti vai ei. Tekniset, markkinointi- ja liiketoimintaedellytykset suunnitellaan siten, että koko toimintasuunnitelmassa on kolme osaa: tuote- ja projektimääritelmä, perusteet projektille sekä projektisuunnitelma. (Product Development Institute Inc. 2011)

Kolmannella portilla arvioidaan toimintasuunnitelman toimivuus ja sen ollessa kunnossa projekti voidaan päästää kolmannelle tasolle. Kolmannella tasolla suunnitelmia aletaan toteuttaa ja siirrytään varsinaiseen kehitystyöhön. Uutta tuotetta aletaan suunnitella ja valmistus- ja tuotantosuunnitelmat muodostetaan. Myös markkinoille saattaminen ja siellä toimiminen suunnitellaan. Seuraavalla tasolla tehtävät testaukset määritetään. Jos kolmannen tason toiminnan katsotaan onnistuneen, projekti lähetetään edelleen neljännelle tasolle. Siellä toteutetaan koko projektin testaus ja validointi. Siihen sisältyy itse tuotteen, valmistusprosessin, asiakasvaatimusten ja taloudellisten näkökohtien arviointi. Jos kaikki kohdat täyttävät vaatimukset, projekti voidaan päästää viidennestä portista läpi viidennelle tasolle. Siellä tuote saatetaan täysin markkinoille ja kokonaisvaltainen valmistus aloitetaan. (Product Development Institute Inc. 2011)

2.7.3 TRIZ -menetelmä

TRIZ on yksinkertaistettu ajatusmalli tekniseen ongelmanratkaisuun. Se soveltuu parhaiten olemassa olevien ongelmien ratkaisemiseen. Tavoitteena on löytää määriteltyyn ongelmaan mahdollisimman yksinkertainen, mutta samalla myös ideaalinen ratkaisu. Vaivannäkö ja kustannukset pyritään minimoimaan, jolloin toiminta johtaa pieniin ja kohtuullisen helposti toteutettaviin uudistuksiin. Näin menetelmää ei ole suunniteltu puhtaasti uuden tekniikan innovointia varten. Ajatusmallin vahvuutena on nopeus ja varmuus. Menetelmässä edetään vaiheittain ja vaiheet on mahdollista tehdä uudestaan niin kauan kunnes saavutetaan haluttu lopputulos. Menetelmän kulku on kuvattu kuvassa 2.4. (Rantanen 2002)



Kuva 2.4 TRIZ -menetelmän rakenne ja eteneminen (Rantanen 2002)

Menetelmä lähtee liikkeelle ongelmasta, joka pyritään erittelemään kohteeseen ja siihen sovellettavaan instrumenttiin eli ongelman osapuoliin. Osapuolien välillä on olemassa ristiriita, joka muotoillaan mahdollisimman yksinkertaiseen muotoon. Esimerkikongelmana voidaan käsitellä puiden halkominen. Siinä instrumenttina toimii kirves ja kohteena puu. Jotta puu halkeaa, kirveen on oltava painava. Kuitenkin kirveen on oltava myös helposti käsiteltävä, joten sen tulisi olla myös kevyt. Näin ristiriidaksi voidaan muodostaa vaatimus terän painavuudesta ja keveydestä. (Rantanen 2002)

Joskus ongelma voi olla mahdollista ratkaista pelkän ristiriidan muotoilun avulla, mutta läheskään aina tämä ei ole mahdollista. Tällöin resurssien analysointi voi auttaa ratkaisun löytämisessä. Resursseilla tarkoitetaan aineita ja energiaa, joita ei ole aiemmin hyödynnetty. Niitä hyödyntämällä ratkaisu saadaan muodostettua ikään kuin tyhjästä. Kirveen esimerkissä resursseja ovat esimerkiksi terän muoto ja ominaisuudet, varren ominaisuudet, pölkky ja sen ominaisuudet sekä kirveen liike-energia ja painovoima. (Rantanen 2002)

Ristiriita voidaan ratkaista resurssien avulla ja näin muodostaa ideaaliratkaisu. Kirveen kohdalla terän on oltava painava, jotta puu halkeaa mahdollisimman helposti ja toisaalta kevyt jotta sitä olisi helppo käsitellä. Näin ideaaliratkaisu voidaan kuvata siten,

että resurssien avulla terästä voidaan tehdä tietyllä tavalla samaan aikaan kevyt ja painava. Resursseiksi voidaan nimetä liike, jolloin kevyestä saadaan painavaa nopean iskun avulla. Eräässä kirveessä varsi on tehty ontoksi, jolloin kirves kevenee muuten paitsi terän osalta. Näin toisena resurssina on tyhjä tila. (Rantanen 2002)

Ideaaliratkaisu on käsitteenä melko yleisellä tasolla, joten ratkaisun konkretisointiin on kehitetty avuksi teknisen systeemin kehityslait. Lakeja on yhteensä viisi:

1. Kehityksen epätasaisuus
2. Integroituminen ylemmän tason systeemiin
3. Siirtyminen mikrotasolle
4. Vuorovaikutuksen kasvun laki
5. Systeemin laajeneminen ja supistuminen

Kehityksen epätasaisuus tarkoittaa sitä, että myös kehitys itsessään synnyttää uusia ristiriitoja. Näin kehityksen on oltava jatkuvaa, jotta myös uudet syntyneet ristiriidat voidaan ratkaista. Integroituminen ylemmän tason systeemiin viittaa vaatimukseen siitä, että ratkaisun on sovittava yhteen ylemmän systeemin asettamien sääntöjen ja vaatimusten kanssa. Siirtyminen mikrotasolle on ikään kuin vastakohta integroitumiselle ylemmän tason systeemiin. Esimerkiksi vesileikkauksessa suuren terän sijasta kohdetta työstetään veden ja pienten hiukkasten avulla. Vuorovaikutuksen kasvun laki tarkoittaa uusien aineiden ja vuorovaikutusten hyödyntämistä, jolloin jokin asia voidaan mahdollisesti toteuttaa esimerkiksi uuden tekniikan avulla. Viimeisenä systeemin laajeneminen ja supistuminen viittaa ilmiöön, jossa systeemi kehittyessään laajenee. Tällöin kuitenkin muodostuu myös uusia ongelmia, jolloin systeemiä on taas pakko supistaa. (Rantanen 2002)

Viimeisenä kuvassa on merkitty 40 periaatetta. Kyseessä on yksinkertaisten periaatteiden listaus, joka on kehitetty laajojen tutkimusten tuloksena. Ne perustuvat siihen, että hyvät ratkaisut ja ideat sisältävät usein samoja piirteitä ja periaatteita. 40 Periaatetta on merkitty taulukkoon 2.1. (Rantanen 2002)

Taulukko 2.1 40 periaatetta (Rantanen 2002)

1.	Kohteen jakaminen	21.	Yli hyppääminen
2.	Osan erottaminen	22.	Haitta hyödyksi
3.	Paikallinen laatu	23.	Palaute
4.	Epäsymmetrisyys	24.	”Välittäjä”
5.	Yhdistäminen tai sulauttaminen	25.	Itsepalvelu
6.	Monitoimisuus, universaalisuus	26.	Kopiointi
7.	Sisäkkäin sijoittaminen	27.	Halpa ja lyhytikäinen
8.	Vastapaino, noste	28.	Vaikutuksen tehostaminen
9.	Vastavaikutus etukäteen	29.	Pneumatiikka ja hydraulikka
10.	Vaikutus etukäteen	30.	Joustavat kuoret ja kalvot
11.	”Turvatyyny”	31.	Huokoiset materiaalit
12.	Tasapotentiaali	32.	Värimuutokset
13.	Päinvastoin	33.	Homogeenisuus
14.	Pallot ja käyrät	34.	Hävittäminen ja palauttaminen
15.	Dynamisointi	35.	Parametrien muutokset
16.	Osittainen tai ylimääräinen vaikutus	36.	Faasimuutokset
17.	Toinen ulottuvuus	37.	Lämpölaajeneminen
18.	Mekaaninen värähtely	38.	Vahvat hapettimet
19.	Jaksottainen vaikutus	39.	Inerttinen ympäristö
20.	Jatkuva vaikutus	40.	Komposiitit

Periaatteet antavat suoria vihjeitä ideaalisista ratkaisuksista. Ne soveltuvat käytettäväksi tässä menetelmässä ideaaliratkaisun kehittelyyn, mutta ne sopivat myös omaksi itsenäiseksi työkaluksi. (Rantanen 2002)

2.8 Ergonomian lähestymistapoja

Ergonomiaa voidaan lähestyä ja sitä voidaan soveltaa eri tavoin. Voidaan puhua esimerkiksi sovittamisajattelusta, jolloin ratkaisut sovitetaan vastaamaan ihmisen rakenteita, ominaisuuksia, kykyjä ja mieltymyksiä. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi tilat ja laitteet mitoitetaan ihmisen fyysisten ominaisuuksien mukaan, katselukohteet havaitsemiskyvyn mukaan ja valaistustaso työn asettamien vaatimusten tai miellyttäväksi koetun tason mukaan. Jotkin tekijät voidaan luokitella asteikkojen mukaan, joista selviää riittävän pienen terveydellisen riskin rajat. Suunnittelussa käytetään tilastollista tietoa ihmisen mitoista ja ominaisuuksista. (Launis & Lehtelä 2011)

Kuormitusajattelu perustuu koko toiminnan kuormittavuuden tarkasteluun työssä ja pidempikestoisissa suorituksissa työntekijän edellytyksien suhteen. Kun toiminnan kesto tai toistuvuus lisääntyy, suorituskyky alenee. Intensiteetti ja kuormitustaso on sovitettava sellaiselle tasolle, että työ ei aiheuta liiallista väsymystä eikä vaurioita elimistön rakenteita. Kuormitusta voidaan arvioida mittaamalla elimistön reaktioita kuten esimer-

kiksi syketasoa. Kuormitus pitäisi aina optimoida, jotta sitä kuitenkin olisi tarpeeksi ja myös liian vähäinen kuormitus vältettäisiin. (Launis & Lehtelä 2011)

Ihminen-kone -järjestelmäajattelulla pyritään ehkäisemään käyttövirheitä. Tiedon siirron koneelta ihmiselle pitäisi parantua, päätöksenteon pitäisi helpottua ja aikaan pitäisi saada helppo ja luotettava laitteen ohjaus. Keskeisenä osana on myös ihmisen ja teknisen järjestelmän työnjaon suunnittelu. Molempien pitäisi tehdä itselleen sopivat tehtävät. (Launis & Lehtelä 2011)

Kun työtehtäviä pyritään inhimillistämään ottaen huomioon ihmisen psyykkiset, sosiaaliset ja kehittymisen tarpeet, puhutaan työn sisällöllisestä kehittämisestä. Työkokonaisuuksista pyritään saamaan mielekkäitä ja ihmisen osaamista pyritään hyödyntämään ja kehittämään. Perustana on työmotivaation parantaminen työn haastavuuden, vaikutusmahdollisuuksien ja sosiaalisen tuen avulla. Toimintatapojen kehittämisestä puhutaan taas, kun työtapoja ja töiden organisointitapoja kehitetään tuotanto-organisaation muuttuessa tai uuden teknisen järjestelmän käyttöönotossa. Teknisten järjestelmien, organisaation ja toimintatapojen yhteistä kehittämistä voidaan kutsua myös makroergonomiaksi. (Launis & Lehtelä 2011)

Morel et al. (2009) esittää kaksi turvallisuuden ja myös ergonomian parantamiseen liittyvää ajattelutapaa. Ensimmäisen tavan avulla saavutetaan paras mahdollinen turvallisuuden taso. Siinä toimintaa rajoitetaan ja pyritään toimimaan mahdollisimman alhaisella suorituskyvyn tasolla siten, että toiminta on kuitenkin kannattavaa. Toisessa tavassa suorituskyyä pyritään hyödyntämään mahdollisimman hyvin ja toisaalta kehittämään järjestelmän joustavuutta ja palautumiskykyä, jolloin myös turvallisuus pysyy hyvänä. Teollisuuden vaatimusten takia on todennäköisempää, että suorituskyvyn tehokkaampaan hyödyntämiseen panostetaan enemmän, jolloin toiminta on myös tuottavampaa. (Morel et al. 2009)

2.9 Ergonominen suunnittelu

Ergonomisessa suunnittelussa yhdistyvät sekä toiminnan että tekniikan suunnittelu. Tekniset ratkaisut määrittävät toimintaympäristössä tapahtuvan toiminnan ja toisaalta toimintaa suunniteltaessa on huomioitava saatavissa olevat tekniset edellytykset. Työ voi olla esimerkiksi mahdollista organisoida uudestaan kehittyneemmän tekniikan avulla. Kokonaisvaltaisessa ergonomisessa työn suunnittelussa on huomioitava työtilat ja kulkutiet, työpisteen mitoitus, pöydät ja niiden varusteet, istuminen ja istuimet, taakkojen käsittely, työliikkeet ja työvälineet, tehtäväkokonaisuus, laitteiden hallinta, näytöt ja ohjaimet sekä valaistus, ääniympäristö ja lämpöolot. (Launis & Lehtelä 2011)

Korjaava ergonomia ja suunnitteluergonomia ovat yleisintä ergonomian soveltamista. Korjaavassa ergonomiassa toimintaa tai ympäristöä arvioidaan ensin tarkastuslistojen, analysointijärjestelmien, haastattelujen, kuvausten ja mittausten avulla, jonka jälkeen havaitut puutteet korjataan. Suunnitteluergonomiassa luodaan taas uutta, jolloin lähtökohtana ovat yleisperiaatteet, suunnitteluohjeet ja aikaisemmat kokemukset. Suun-

nittelun edetessä suunnitelmia mallinnetaan ja testataan eri tavoin. (Launis & Lehtelä 2011)

Osallistuvassa suunnittelussa ja suunnitteluyhteistyössä hankkeessa on mukana myös työntekijöitä. Tällöin pystytään hyödyntämään työntekijöiden kokemukset, tarpeet ja tuntemukset, ja toisaalta työntekijöiden on helpompi hyväksyä tehdyt ratkaisut. Suunnittelussa voidaan hyödyntää myös työn ja työpaikan asiantuntijoita kuten työterveyden, työturvallisuuden ja henkilöstöhallinnon alueilta sekä linjaorganisaatiosta. (Launis & Lehtelä 2011)

Osallistuva suunnittelu onnistuu todennäköisemmin, kun käyttäjä saa vaikuttaa prosessissa tehtyihin valintoihin ja pääsee kokemaan mahdollisten muutosten mukanaan tuomat edut. On tärkeää löytää vaihtoehtoista paras, koska ergonomian osalta pyritään usein parhaaseen mahdolliseen tilanteeseen. Kun testaaminen tehdään työntekijöiden avulla ja he pääsevät vaikuttamaan parhaan vaihtoehdon valintaan, suuremman hyödyn ja paremman tuottavuuden saavuttaminen on helpompaa. Tämä liittyy myös läheisesti vaikutusmahdollisuuksien tunteeseen. (Vink et al. 2006)

Ergonomiaa huomioivassa osallistuvassa suunnittelussa on oltava tietoinen vallitsevasta tilanteesta. Kokonaisvaltaisessa projektissa pitäisi olla mukana toisiinsa yhteydessä olevia työryhmiä, joiden jäseninä olisi ihmisiä johdosta, työntekijöistä ja suunnittelijoista. Hyödyn saavuttamiseksi johdon on sitouduttava myös hyödyntämään työryhmien tuloksia. Nämä työryhmät ovat kuitenkin vain yksi tiedonlähde teknisessä prosessissa. Työryhmille on asetettava toiminnan rajat, jotka antavat ryhmille mahdollisuuden tehdä suunnittelutyötä käytännössä. Rajojen on oltava joustavia ja tarpeen tullen niitä on muokattava vastaamaan vallitsevaa suunnittelun tilannetta. (Broberg et al. 2011)

Käytettävyyden suunnittelu ja testaaminen liittyy tiiviisti etenkin tietotekniikkaa soveltavien laitteiden suunnitteluun. Niiden huono käytettävyys vaikeuttaa toimintaa merkittävästi tai voi jopa estää sen. Käytettävyys tarkoittaa nimenomaan mahdollisuutta käyttää laitetta tai järjestelmää tuloksellisesti, tehokkaasti ja miellyttävästi. Nykyään käytettävyyden käsitettä käytetään lähes samassa merkityksessä kuin ergonomian käsitettä. Myös käytettävyydessä voidaan käyttää toimintamalleja ja menetelmiä, joissa käyttäjät pääsevät osallistumaan suunnitteluun ja testaamiseen. (Launis & Lehtelä 2011)

2.10 Ergonomian huomioiminen tuotekehityksessä

Broberg (1997) erittelee neljä erilaista lähestymistapaa ergonomian yhdistämiseksi tuotekehitysprojektiin. Ensimmäinen tapa on lähestyä aihetta suunnittelun näkökulmasta, jossa tuotekehitys on vaiheittain etenevä prosessi tarkkoine vaatimuksineen ja yksityiskohtineen. Tällöin ergonomia voidaan merkitä dokumentteihin vaatimuksena, jolloin sitä käsitellään samalla tavalla kuin muitakin suunnitteluvaatimuksia. Toisen tavan mukaan tuotekehitysprosessin sisällä tärkeimmät elementit määräytyvät organisaation sisäisten toimijoiden välisten neuvottelujen tuloksena. Tällöin ergonomia on pystyttävä esittämään tärkeänä vaatimuksena jo suunnittelun alkuvaiheessa, jotta sen huomioiminen varmistetaan. Kolmannessa lähestymistavassa tuotekehitysprosessi ajatellaan mo-

nimutkaisena organisatorisena ongelmanratkaisuprosessina. Ergonomian huomioiminen voidaan joko yhdistää suunnittelun tarkasteluihin tai sitä voidaan parantaa kehittämällä ergonomian asiantuntijoiden ja suunnittelijoiden yhteistyötä. Neljäntenä lähestymistapana on seurata systemaattisesti tuotannon henkilöstöltä saatua palautetta ja ideoita. Tätä kautta löytyneet ongelmat voidaan korjata ja pystytään asettamaan ergonomisia tavoitteita ja vaatimuksia. (Broberg 1997)

Sundin et al. (2004) korostaa artikkelissaan osallistuvan ergonomian kehittämistä. Heidän tutkimassaan esimerkkitapauksessa tuotekehitysprojektin työryhmä koottiin suunnitteluinsinööreistä, tuotantoinsinööreistä ja ulkopuolisista ergonomian asiantuntijoista. Varsinaiseen ryhmään ei kuulunut tuotannon työntekijöitä, mutta heidän palautteitaan ja kommenttejaan kerättiin ja kuunneltiin jatkuvasti projektin edetessä. Menetelminä käytettiin muun muassa aika-analyysijä, asennussimulaatioita ja tietokonemalleja, joiden avulla yhteistyö ja ymmärrys ryhmän jäsenten välillä paranivat. Asennettavuuteen liittyviä ongelmia havaittiin jo prosessin varhaisissa vaiheissa ja asennusergonomiaa saatiin merkittävästi parannettua jo suunnitteluvaiheessa, joka osaltaan osoittaa osallistuvan ergonomian kehittämisen toimivuutta. Ergonomian parantumisen lisäksi myös asennusaika pieneni huomattavasti, joten toiminnalla on myös selkeitä taloudellisia vaikutuksia. (Sundin et al. 2004)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Kohdeyritys

3.1.1 Sandvik Group

Yhtiö perustettiin alkujaan jo 1862 Ruotsissa. Alussa yhtiön tuotteisiin kuului kiven porauksessa käytettävät porausteräket. Vuosien myötä toiminta on laajentunut merkittävästi. Nykyään Sandvikilla on toimintaa 130 maassa. Vuonna 2011 konsernilla oli 50000 työntekijää ja liikevaihto oli noin 90 miljardia ruotsin kruunua. (Sandvik 2012a)

Yhtiön toiminnot on jaettu viiteen erilliseen liiketoiminta-alueeseen. Liiketoiminta-alueet ovat Sandvik Mining, Sandvik Machining Solutions, Sandvik Materials Technology, Sandvik Construction ja Sandvik Venture. Sandvik Mining valmistaa kaivostoi-
mintaan liittyvää laitteistoa, työkaluja ja palveluja. Sandvik Machining Solutions keskittyy metallin työstöön tarkoitettujen työkalujen valmistukseen. Sandvik Materials Technologyn tuotteisiin kuuluu ruostumattomasta teräksestä, erikoismetalleista ja eristemat-
eriaaleista valmistetut korkean vaatimustason tuotteet. Sandvik Construction tuottaa maanpäälliseen maanrakennukseen liittyviä sovelluksia ja Sandvik Venture keskittyy luomaan hyviä toimintaedellytyksiä pienemmille, mutta nopeasti kasvaville toiminnoil-
le. (Sandvik 2012a)

3.1.2 Sandvik Mining

Sandvik Mining muodostui alkujaan vuonna 1997, kun Sandvik osti Tamrockin. Tamrock ja Sandvik Rock Tools yhdistettiin, jolloin syntyi Sandvik Mining and Constructi-
on. Nimeksi muutettiin vuoden 2012 alusta Sandvik Mining, joka on tällä hetkellä maa-
ilman johtava kaivosteollisuudessa käytettävien mineraalien ja kiviaineksen louhintaan
ja kuljettamiseen tarkoitettujen laitteiden ja palveluiden tuottaja. Myös Sandvik Minin-
gin toiminta jakautuu yli 130 maahan ja sen palveluksessa on yli 15500 työntekijää.
(Sandvik 2012b)

Sandvik Mining toimii Suomessa Tampereella, Turussa, Lahdessa, Hollolassa ja Vantaalla. Tampereen tehtaan tuotevalikoimaan kuuluu tunnelinporauslaitteita sekä kai-
vos- ja tuotantoporauslaitteita. Turussa valmistetaan kuljetus- ja lastauskoneita ja Lah-
dessa hydraulisia iskuvasaroita ja leikkurimurskaimia. Hollolassa suunnitellaan massa-
tavarankäsittelyyn liittyviä projekteja maailmanlaajuisesti ja Vantaalla sijaitsee myynti-
konttori, jonka tuotevalikoimaan kuuluvat ruostumattomat putket, lankateräket, hit-
sauslisäaineet ja sähkövastusmateriaalit sekä kovametallityökalut sorvaukseen, jyrsin-
tään ja poraukseen. (Sandvik 2012b)

Turun tehdas on perustettu 1913, ja siellä valmistettiin aluksi rautasänkyjä. 20-luvulta lähtien tuotanto keskittyi lastaus- ja maanrakennuskaluston sekä traktoreiden puolitelalaitteiden valmistukseen. Lastareiden ja dumpperien valmistukseen keskityttiin 1977. Tuotanto käsittää nykyäänkin juuri lastareita ja dumppereita, ja pääasiallisina asiakkaina ovat kaivosyhtiöt ja louhintaurakoitsijat ympäri maailman. (Sandvik 2012c)

3.1.3 Työssä käsiteltävät konetyypit

Tässä työssä tarkastellaan kahta eri konetyyppiä valmistuksen ergonomisia ongelmakohtia koskien. Molemmat koneet ovat lastareita ja niiden mallit ovat LH514E sekä LH517. Mallin tunnuksessa ensimmäiset kaksi kirjainta tulevat sanoista Load and Haul eli lastata ja kuljettaa. Ensimmäinen numero kuvaa koneen toimintaympäristön kokoa. Molemmat kohteena olevat koneet pystyvät luokituksensa mukaan siis toimimaan 5 x 5 metrin kokoisessa tunnelissa. Kaksi seuraavaa numeroa kuvaavat koneen nostokapasiteettia. Toinen koneista pystyy nostamaan kerralla 14 tonnia ja toinen 17 tonnia. Viimeisenä toisessa mallissa oleva kirjain E tarkoittaa, että kone toimii sähköllä. Ilman kirjainta olevat mallit ovat perinteisiä dieselmoottorilla toimivia koneita. Molempien koneiden tarkat ominaisuudet esimerkiksi automaatiotoiminnoista määräytyvät asiakkaiden tekemien valintojen mukaan. LH514E on nähtävissä kuvassa 3.1 ja LH517 kuvassa 3.2.



Kuva 3.1 Sähkötoiminen lastari LH514E (Sandvik 2012c)

Mallien tunnukset eivät eroa toisistaan paljontaan, mutta koneiden rakenteet eroavat toisistaan selvästi. Voimanlähteinä toimivat dieselmoottori ja sähkömoottori eroavat tekniikoiltaan ja muodoiltaan toisistaan merkittävästi, joten myös koneiden rungot ovat

erilaiset takarungon osalta. Eturunkojen erot ovat tähän verrattuna pieniä. Suurin ero toiminnassa on sähkökoneessa oleva kiinteä kaapeli, jonka kautta kone saa virtansa. Kaapeli kulkee koneen takaosassa kelattuna. Periaatteena on kaapelin pitäminen kireällä jatkuvasti koneen liikkuesssa, jolloin se ei jää renkaiden alle koneen liikkuesssa eteen ja taakse. Kaapelin pituus on noin 250 metriä, jolloin koneen toimintasäde on noin puoli kilometriä. Dieselmoottorilla toimivissa koneissa tällaista rajoittavaa tekijää ei ole.



Kuva 3.2 Dieselmoottorilla varustettu lastari LH517 (Sandvik 2012c)

LH517 on malleista vanhempi ja sen menekki on suurempi, mutta myös sähkökoneiden suosio on jatkuvasti kasvussa. Niiden selkeänä etuna on paljon hiljaisempi toiminta sekä pakokaasuttomuus. Ahtaissa ja syvissä kaivoksissa ilmaa on muutenkin rajallisesti, jolloin pakokaasuttomuus voi olla erittäin tärkeä ominaisuus.

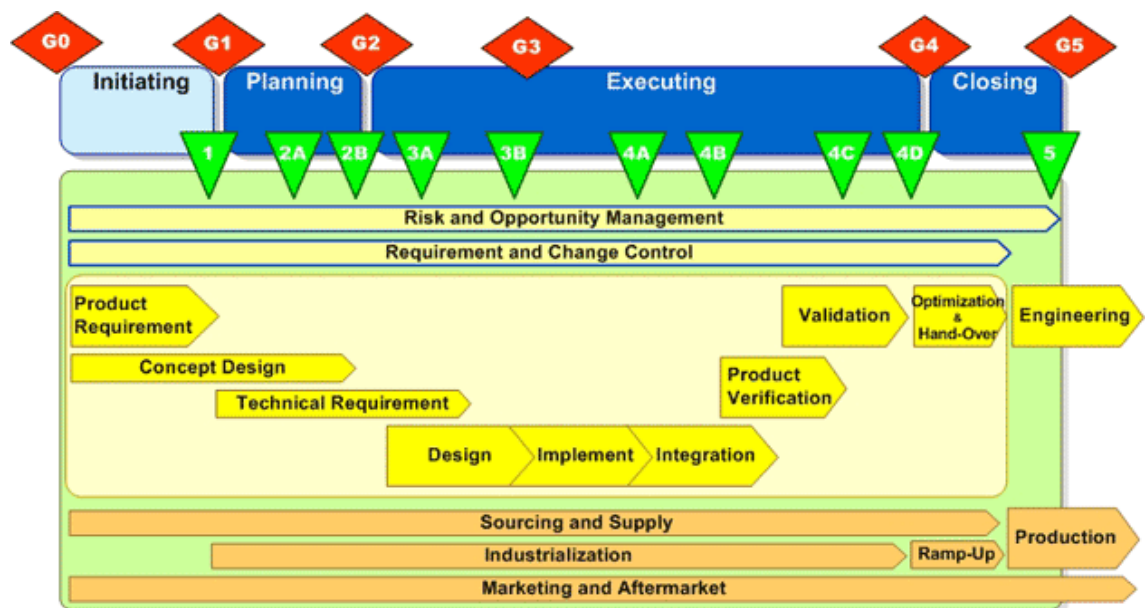
3.1.4 Tuotekehitysosasto ja sen toiminta

Turun tehtaalla tuotesuunnittelun osa-alueisiin kuuluu uustuotesuunnittelu, nykytuotteiden suunnittelu ja systeemisuunnittelu. Uustuotesuunnittelussa työskentelee 12 henkilöä, joiden tehtäviin kuuluu tarjottavaan mallistoon tulevien uusien tuotteiden suunnittelu. Nykytuotteiden suunnittelussa puolestaan työskentelee 14 työntekijää. Näistä kahdeksan toimii tuoteinsinööreinä, joilla jokaisella on tietty määrä konetyyppejä vastuunaan. He vastaavat valmistuksessa oleviin koneisiin tulevista muutoksista ja parannuksista. Työssä toimivat apuna kuusi osastolla työskentelevää suunnittelijaa. Systeemi-

suunnittelu hoitaa sähköihin, hydraulikkaan ja ohjausjärjestelmiin liittyvän suunnittelutyön. Systemisuunnittelussa työskentelee 20 henkilöä.

3.1.5 Projektimalli uustuotekehitykseen

Sandvik Miningin käytössä on projektimalli, joka pohjautuu aiemmin esitettyyn Stage-Gate -malliin. Sandvikin mallissa on kuitenkin alkuperäisestä poiketen neljä tasoa ja viisi porttia. Projektin neljä päävaihetta eli tasoa ovat alustaminen (Initiating), suunnittelu (Planning), toteuttaminen (Executing) ja viimeistely (Closing), joiden molemmin puolin on portti. Myös portin rakenne poikkeaa hieman alkuperäisestä mallista. Portilla arvioidaan, ovatko projektin mahdollisuudet riittävän hyvät (Business Opportunity), vastaavatko projektin tarvitsemat resurssit sille varattuja resursseja (Project Portfolio Management) sekä saavuttaako projektin taso tarkoitetun lopputuloksen (Project Status). Tuloksena projektille annetaan käsky jatkaa, palata takaisin edelliseen vaiheeseen tai lopettaa kokonaan (Go decision/Re-work decision/No Go decision). Projektimalli on nähtävissä kuvassa 3.3 ja portin rakenne kuvassa 3.4. (Sandvik 2012c)



Kuva 3.3 Sandvik Miningin käytössä oleva projektimalli (Sandvik 2012c)

Projektin ensimmäisessä vaiheessa eli alustamisessa on tarkoitus varmistaa, että keskeinen idea on sekä teknisesti että taloudellisesti toteutettavissa. Projektin on toteutettava kaikki sille asetetut odotukset ja vaatimukset sekä asiakkaan tarpeet. Sen on oltava linjassa myös yrityksen toimintamallien ja strategian kanssa. Suunnitteluvaiheessa päätetään projektin toteuttamiseen liittyvistä strategioista ja valmistellaan projektisuunnitelma. Tarkoituksena on luoda vahva pohja, jotta projektin varsinainen toteutus ja viimeistely onnistuvat. Toteutusvaiheessa projektia johdetaan ja viedään eteenpäin yrityksen ja asiakkaan asettamien vaatimusten mukaisesti. Tuotesuunnitelma muodostetaan ja prototyypin valmistus valmistellaan. Viimeistelyssä projekti annetaan eteenpäin yrityksen sisäisesti tai ulkoisesti. Kaikki siihen liittyvä dokumentoitu materiaali arkistoidaan

ja rahoitukseen liittyvät asiat päätetään. Näin myös koko projekti tältä osin päätetään. (Sandvik 2012c)



Kuva 3.4 Portin rakenne (Sandvik 2012c)

Projektin päävaiheiden aikana ja välillä merkittävät kohdat on merkitty numeroilla, jotka kuvastavat tarkistuspisteitä (kuva 3.3). Niiden avulla projektin johdon on helpompi hallita projektin etenemistä. Tarkistuspisteet on määriteltävä jokaiselle projektille erikseen, mutta tuotekehitysprojekteille on annettu perusvaatimukset. Kuvan keltaiset laatikot kertovat tarkistuspisteitä edeltävät ensisijaiset toimet. Tarkistuspisteiden vaatimukset on listattu taulukossa 3.1. (Sandvik 2012c)

Projektin päävaiheiden rinnalla kulkee koko projektin ajan riskien ja mahdollisuuksien johtaminen (Risk and Opportunity Management), joka tarkoittaa käytännössä riskien ja mahdollisuuksien hallintaa. Riskienhallinnan tarkoituksena on tunnistaa mahdollisia ongelmia jo etukäteen, jotta niiden syntyminen voidaan estää tai niiden toteutumisen todennäköisyyttä ainakin pienentää. Toimintaan liittyviä riskejä ovat taloudelliset riskit, projektiriskit ja tuoteturvallisuusriskit. Mahdollisuuksien hallinta liittyy myös riskeihin, koska yleensä ongelmien ja riskien ratkomisen yhteydessä on mahdollista tehdä uusia oivalluksia. Jokaisen riskin yhteydessä on mahdollista löytää uusia toimintatapoja, luoda jotain uutta tai parempaa, tehdä parannuksia, ratkoa ongelmia, estää ongelmien syntyminen, löytää uusia läpimurtoja, saavuttaa teknisiä oivalluksia sekä arvioida nykyisten ideoiden, mallien ja toimintaperiaatteiden toimivuutta. Eri osastojen ja asiantuntijoiden yhteistyö on kuitenkin välttämätöntä uusien mahdollisuuksien löytämiseksi. (Sandvik 2012c)

Päävaiheiden rinnalla kulkee myös melkein koko projektin ajan vaatimusten ja muutosten hallinta (Requirement and Change Control). Asiakkaaseen, itse tuotteeseen ja tuotteen komponentteihin liittyviä vaatimuksia on päivitettävä projektin edetessä. On myös huolehdittava, että vaatimukset ja projektiin liittyvät suunnitelmat ja toiminnot tukevat toisiaan. Vaatimustenhallinta on osa muutosten hallintaa, johon kuuluu myös päivitysten tekeminen suunnittelu- ja tuotetietoihin. Muutosten hallintaan liittyy myös tapa, miten huomioidaan ongelmat ja viat sekä rahoittajilta tulleet muutospyynnöt ja -vaatimukset. (Sandvik 2012c)

Taulukko 3.1 Projektimallin tarkistuspisteiden vaatimukset (Sandvik 2012c)

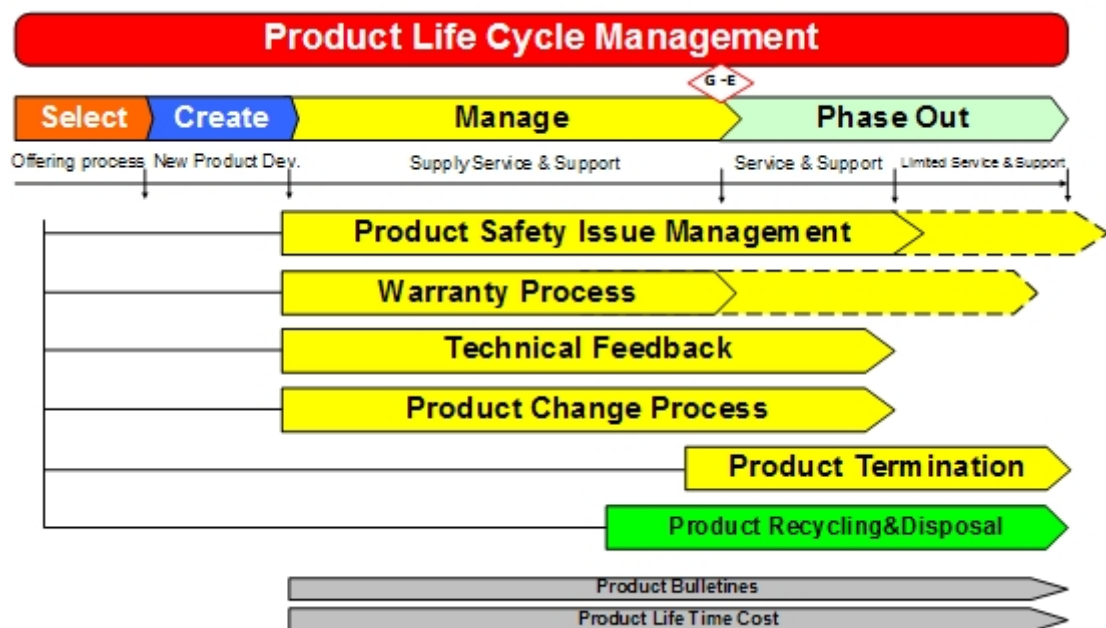
Tarkistuspiste	Sisältö
1	Alustavat budjetti- ja projektin kestoarviot, toimintasuunnitelma sekä arvio projektin tuottomahdollisuuksista on oltava tehtyinä. Tuotteen vaatimukset ovat listattuna ja näiden perusteella on tehty alustava toiminto- ja tuoterakennesuunnitelma.
2A	Toiminto- ja tuoterakenteen suunnittelua jatketaan ja käsitteelliset suunnitelmat sekä tekniset vaatimukset eri vaihtoehtojen välillä arvioidaan. PBS (Product Breakdown Structure) ja WBS (Work Breakdown Structure) tehdään alustavasti ja toimintasuunnitelmaa ja tuotteen sisältöä on päivitetty.
2B	Toimintasuunnitelma on valmis ja tuotteen sisältö, piirteet ja toiminnot on määritelty. Toiminto- ja tuoterakenne ovat valmiit ja tekniset perusvaatimukset sekä PBS ja WBS ovat määritelty. Projektin toimintatavat ovat myös määritelty ja projektisuunnitelma ja budjetti ovat valmiita hyväksyttäväksi. Riskit on tunnistettu ja niihin liittyvät toimenpiteet on tehty. Valmistusta tukevat toiminnot on alustavasti hoidettu ja avaintoimittajat ja yhteistyökumppanit on tunnistettu.
3A	Projekti on perustettu ja aloituspalaverit on pidetty. Toiminta on käynnissä ja resurssit ovat käytössä.
3B	Projektista saatava tuotos ja siihen liittyvät vaatimukset päätetään lopullisesti.
4A	Komponentit ja osat on ostettu tai valmistettu sekä testattu ja niiden integroiminen voi alkaa.
4B	Integrointi on tehty ja prototyyppi on valmis. Tuotteen verifiointi voi alkaa.
4C	Tuote on verifioitu.
4D	Tuote on validoitu ja valmis hyväksyttäväksi. Kaikki dokumentit on hyväksytty ja tuotteen laatutarkistus on tehty. Tuote on valmis markkinoille tai ensimmäiselle asiakkaalle.
5	Tuote on testattu ensimmäisellä asiakkaalla. Valmistuksen hienosäädöt on tehty ja tuotetta voidaan alkaa valmistaa viimeisen dokumentoidun ja varmistetun tavan mukaisesti. Projektin loppuraportti on tehty.

Alimpana kuvassa 3.3 näkyvät projektin etenemistä tukevat toiminnot. Hankinnan ja oston (Sourcing and Supply) tehtävinä on järjestää luotettavat ja hyvät toimittajaverkostot sekä sitä kautta toiminnassa tarvittavat osat, tuotteet ja komponentit. Kaikkien osien, tuotteiden ja komponenttien on täytettävä niille asetetut turvallisuus-, laatu- ja muut vaatimukset. Teollistaminen (Industrialization) tarkoittaa valmistelujen ja suunnitelmien tekemistä, jotta tuotanto voi aikanaan alkaa moitteettomasti. Ennen varsinaista tuotannon aloitusta prosessi vielä hienosäädetään (Ramp Up), jotta kaikki virheet saadaan mahdollisimman tehokkaasti poistettua prosessista. Markkinoinnin ja jälkimarkkinoin-

nin (Marketing and Aftermarket) tehtävänä on tuoda tuote onnistuneesti markkinoille ja varmistaa taloudellinen menestyminen. (Sandvik 2012c)

3.1.6 Nykytuotesuunnittelun toiminta

Tämä työ keskittyy tarkemmin nykytuotteiden suunnitteluun. Nykytuotteiden suunnittelussa toteutetaan tuotteille turvallisuuden, takuuprosessin, teknisen palautteen ja tuotteen muutosprosessin kautta tulevat suunnittelutarpeet. Kuvasta 3.5 nähdään nykytuotesuunnittelun osuus koko tuotteen elinkaaren ajalla. Ennen nykytuotesuunnittelun vastuun alkamista kuvassa näkyy tuotteen valinta tarjontaprosessin kautta sekä uustuotesuunnittelun osuus. Nykytuotesuunnittelu toimii tuotteen ylläpitoaikana (Manage) ja sen vaiheittaisen käytöstä poistamisen aikana (Phase Out). Ylläpitoaikana tuotetta toimitetaan ja tuotteen huolto- ja tukipalvelut toimivat normaalisti. Käytöstä poistamisen aikana huolto- ja tukitoiminnot toimivat aluksi normaalisti, mutta loppua kohden toimintoja rajataan ennen lopullista tuotteen lopettamista (Product Termination). Tuotteen kierrätys ja hävittäminen (Product Recycling & Disposal) ovat osa koko prosessia jo tuotteen ylläpitoaikana. (Sandvik 2012c)



Kuva 3.5 Nykytuotteiden suunnittelun osat (Sandvik 2012c)

Tuotteen turvallisuusjohtaminen (Product Safety Issue Management) perustuu nykytuotesuunnittelussa onnettomuuksien, läheltä piti -tapausten sekä tuotteen turvallisuuden liittyvän palautteen tutkimiseen. Varsinainen tuotteen turvallisuuden tutkiminen tehdään jo uustuotesuunnittelun aikana. Jos tuotteessa havaitaan onnettomuuden seurauksena tai muulla tavalla puutteita turvallisuudessa, asiasta on välittömästi raportoitava ja se dokumentoidaan tarkoitusta varten olevaan tietokantaan. Kun dokumentointi on tehty, asiasta aloitetaan tutkinta. Heti tutkimuksen alussa tehdään päätös, onko välittömille toimille tarvetta. Tutkimuksen edetessä määritetään mahdolliset korjaavat toimenpiteet,

joista lopulta ilmoitetaan kaikille niille, joita asia koskee. Tuotteen turvallisuusjohtaminen jatkuu osittain vielä tuotteen lakkauttamisen jälkeenkin, mutta toimintaa kuitenkin vähennetään jo tuotteen käytöstä poistamisen aikana. (Sandvik 2012c)

Takuuprosessin (Warranty Process) tehokas hoitaminen on välttämätöntä hyvien asiakassuhteiden luomiseksi, mutta se on myös toimiva keino löytää virheitä koneissa ja sitä kautta tarvetta uudelleensuunnittelulle. Takuuprosessi alkaa asiakkaan palautteesta. Ensimmäisenä pyritään korjaamaan havaittu vika mahdollisimman nopeasti. Vasta tämän jälkeen tehdään kattavammat tutkimukset asiasta ja päätökset toimenpiteistä. Tehdyistä korjauksista kerätään asiakkaiden palautteet, jolloin pystytään arvioimaan haluttujen vaikutusten onnistumista. Takuuprosessi toimii täydessä laajuudessaan tuotteen ylläpitoaikana, mutta käytöstä poistamisen aikana myös takuutoiminta suppenee. (Sandvik 2012c)

Teknisellä palautteella (Technical Feedback) tarkoitetaan asiakaspalautteiden tehokkaampaa käsittelyä ja hyödyntämistä. Palautteen järjestelmällisellä keräämisellä ja käsittelyllä tiedot pystytään myös arkistomaan siten, että ne on helppo löytää uudelleen mahdollista käyttöä varten. Prosessin avulla myös asiakkaita pystytään palvelemaan paremmin, kun teknisiin ongelmiin pyritään vastaamaan lähellä asiakasrajapintaa. Tietojen arkistoinnin ja jakamisen avulla teknisiä organisaatiotasoja pystytään yhdistämään globaalisti. Palautteiden käsittelyn kautta saavutetaan jatkuvaa oppimista ja parantamista. Varsinainen toiminta alkaa saadusta palautteesta, jonka perusteella ongelma dokumentoidaan. Ongelmaan kehitellään ja toteutetaan ratkaisu paikallisesti, jonka jälkeen toiminta siirtyy suunnittelulle. Ongelmaan etsitään ratkaisuja ja kehitellään korjaavia ja ennaltaehkäiseviä ratkaisuja, joista parhaat toteutetaan. Koko prosessi dokumentoidaan ja asiaan liittyviä asiakkaita informoidaan asiasta. Tekninen palauteprosessi jatkuu vielä käytöstä poistamisen aikanakin kunnes toimintaa aletaan huollon ja tuotetuen osalta supistaa. (Sandvik 2012c)

Tuotteen muutosprosessiin (Product Change Process) sisältyy asentajilta ja suunnittelijoilta tulevat muutospyynnöt. Tavallisin muutossuunnittelun lähtökohta on tuotannosta tuleva muutospyyntö, kun kokoonpanossa huomataan jokin asennusta haittaava tekijä. Korjauspyyntö toteutetaan täyttämällä ECR -lomake (Engineering Change Request). Tiedot tallennetaan tietokantaan, josta tuoteinsinööri näkee muutospyynnön. Kun muutos on tehty, tuoteinsinööri täyttää tietokantaan vastaavasti ECN -lomakkeen (Engineering Change Note). Muutospyynnöt voivat koskea kaikenlaisia koneeseen liittyviä ongelmia aina esimerkiksi piirustuksissa olevista virheistä väärässä paikassa sijaitseviin reikiin tai jo mainittuun hankalaan asennettavuuteen. Muutosprosessi on käynnissä teknisen palauteprosessin tapaan huollon ja tuotetuen supistamiseen asti. Alimmaisena kuvassa näkyvät vielä tuotteen tietojen kerääntyminen (Product Bulletines) sekä tuotteen eliniän kustannukset (Product Life Time Cost), jotka molemmat kertyvät koko ylläpitoajan sekä käytöstä poistamisen ajan. (Sandvik 2012c)

Nykytuotesuunnittelun tehtäviin kuuluu edellä mainittujen lisäksi vielä vuosimallimuutokset. Aiemmin tuotteisiin on tehty muutoksia vähitellen koneen elinaikana. Toiminta on kuitenkin muutettu toimimaan siten, että korjaavia ja parantavia muutoksia

tehdään kootusti tietyin väliajoin ja hallitusti vuosimallimuutosten muodossa. Vuosimallimuutoksen eteneminen näkyy kuvassa 3.6. (Sandvik 2012c)



Kuva 3.6 Vuosimallimuutoksen kulku (Sandvik 2012c)

Varsinaista vuosimallimuutoksen tekemistä edeltää analysointivaihe (Analysis). Tarkoituksena on käydä läpi kaikki koneeseen liittyvät muutostarpeet ja tuottaa niiden perusteella listaus tärkeimmistä tarvittavista muutoksista. Muutostarpeisiin liittyviä tietoja tulee kaikista aiemmin mainituista nykytuotesuunnittelun osa-alueista eli tuotteen turvallisuusjohtamisesta, takuuprosessista, teknisestä palautteesta sekä tuotteen muutosprosessista. Näiden lisäksi huomioitavia asioita ovat muun muassa turvallisuuteen, lainsäädäntöön, teknologian kehittymiseen ja tuotteen kuluihin liittyvät asiat. (Sandvik 2012c)

Suunnitteluvaihe (Planning) aloitetaan projektijohtajan sekä projektitiimin valitsemisella. Varsinaiset suunnitteluvaiheen tehtävät tehdään analysointivaiheesta saadun listauksen perusteella. Suunnittelussa listaus jalostetaan priorisoiduksi tehtävälistiksi, jossa ajoitukset ja rahoituksen jakautuminen on määritelty. Toisin sanoen tietylle tuotepiheelle tai konetyypille määritetään muutospaketti sekä alustava aikataulusuunnitelma. Suunnitteluvaiheen tulokset arvioidaan ensimmäisellä portilla. Jos muutospaketin sisältö, resurssien jakaminen ja ajoittaminen sekä muutosten taloudelliset vaikutukset ovat kunnossa, suunnitelmat hyväksytään ja päästetään seuraavaan vaiheeseen. (Sandvik 2012c)

Toteutusvaiheessa (Executing) valitaan ne muutokset ja parannukset, jotka toteutetaan tuotannossa. Tämän lisäksi tuotetaan piirustukset, materiaalilistat ja uudet riskinarvioinnit sekä tarkastetaan lakien ja sääntöjen täyttyminen. Vaiheen lopussa tehdään kattava tarkastus siitä, onko kaikki vaiheen tehtävät tehty, täytyykö jotain jättää tekemättä tai tarvitaanko lisää aikaa. Tarkastus tehdään ryhmässä, jossa on edustettuna vaiheen toteuttajat, tuotesuunnittelun johto, tuotanto, laatu ja markkinointi. Toisella portilla arvioidaan, onko tavoitteet saavutettu ja mitä asioita jäi toteutettavaksi seuraavaan päivytykseen. Kun nämä asiat on tarkastettu ja hyväksytty, voidaan jälleen siirtyä seuraavaan vaiheeseen. (Sandvik 2012c)

Viimeisenä vaiheena vuosimallimuutoksessa on julkistaminen (Releasing). Siinä tiedot muutoksista välitetään tuotantoon. Materiaalilistat, piirustukset ja tekniset tiedot sekä suunnittelumuutokset paljastetaan. Myös tuotannosta tulevaan palautteeseen kiinnitetään huomiota. Joidenkin muutosten osalta toteutus voidaan tehdä ensin vain jossain koneessa ja laajentaa tietyn ajan jälkeen koskemaan myös muita malleja. Kaikki keskeiset mallit on kuitenkin tarkoitus paljastaa kolmen kuukauden sisällä. (Sandvik 2012c)

3.1.7 Tuotantosolun toiminta

Tarkastelun kohteena olevaa sähkötoimista lastari LH514E:tä valmistetaan eräässä Turun tehtaan tuotantosolussa, jossa työskentelee tällä hetkellä 14 työntekijää. Näistä kahdeksan toimii mekaniikka-asentajina ja kuusi sähköasentajina. Työtä tehdään kahdessa vuorossa, ja molemmissa vuoroissa työskentelee suunnilleen sama määrä henkilöitä. Yksi henkilö on nimetty soluvastaavaksi, ja hän työskentelee niin sanotussa päivävuorossa, jolloin hän pystyy olemaan tekemisissä molempien vuorojen työntekijöiden kanssa. Sähköasentajat hoitavat kaikki koneen sähköihin liittyvät asennukset, kokoonpanot sekä johdotukset ja mekaniikka-asentajat tekevät puolestaan muut koneen asennukset ja kokoonpanot liittyen muun muassa hydraulikkaan ja voimansiirtoon.

Solussa on tilaa kahdelle koneelle. Kokoonpano alkaa, kun soluun tuodaan uusi takarunko. Koneen valmistus on jaettu karkeasti viiteen eri vaiheeseen, joissa tehdään aina tietyt asennustyöt. Näin tarvittavat osat pystytään ohjaamaan soluun vaiheiden mukaisessa järjestyksessä. Toiminta on saatu järjeistettyä ja organisoitua paremmin, kun osia ei tarvitse enää toimittaa soluun satunnaisesti ja epäjärjestyksessä.

Ensimmäinen vaihe tehdään niin sanotusti kone alhaalla solun ensimmäisellä kokoonpanopaikalla. Tämä tarkoittaa sitä, että takarunko jätetään aluksi matalien pukkien päälle lähelle lattiatasoa. Siten takarungon päällä ja välissä on helppo liikkua ja tehdä tarvittavat toimenpiteet. Ensimmäisen vaiheen jälkeen takarunko siirretään toiselle kokoonpanopaikalle korkeampien pukkien päälle, jolloin myös takarungon alla on mahdollista työskennellä. Toisella kokoonpanopaikalla kiinnitetään myös eturunko, jolloin kone tulee täyteen mittaansa. Aina, kun takarunko siirretään korkeammille pukeille, paikka matalilla pukeilla vapautuu ja solu on valmis ottamaan uuden takarungon käsitteilyyn. Näin kahta konetta voidaan valmistaa samanaikaisesti eri valmistusvaiheissa.

Mekaniikka- ja sähköasentajien tehtävät kulkevat aluksi erillään. Kokoonpanon alussa mekaniikka-asentajat tekevät kierteytyksiä, asentavat säiliöitä ja tekevät muita sähköistä riippumattomia asennuksia. Samaan aikaan sähköasentajat varustelevat suuria sähkökomponentteja, joita ovat esimerkiksi kontaktorikaappi, logiikkakaappi ja liukurengas. Myöhemmässä vaiheessa, kun sähköasentajat ovat saaneet sähkökomponentit koottua ja asennettua, työ alkaa kulkea samassa rytmissä mekaniikka-asentajien kanssa. Sähköjä ja johdotuksia vedetään sitä mukaa, kun niitä tarvitsevia komponentteja saadaan asennettua.

3.1.8 Tuotantolinjan toiminta

Toisena tarkastelukohteena olevaa lastari LH517:ää valmistetaan toisella kahdesta tehtaalta olevasta tuotantolinjasta. Myös linjalla työskennellään aamu- ja iltavuorossa, mutta rakenteeltaan tuotantolinja poikkeaa solusta selkeästi. Linja on jaettu viiteen eri asemaan. Varsinaisen linjan rinnalla on eturunkolinja, jossa koneen eturunko valmistetaan omana kokonaisuutenaan. Eturunkolinja valmistaa eturungot myös toiselle tuotantolinjalle. Jokaisella asemalla työskentelee kaksi mekaniikka-asentajaa per vuoro sekä yksi nimetty asemavastaava, joka työskentelee soluvastaavan tavoin päivävuorossa. Sähkö-

asentajat on jaettu siten, että kaksi asentajaa per vuoro työskentelee asemilla 1 – 3 ja kaksi asentajaa per vuoro työskentelee asemilla 4 – 5. Myös sähköasentajilla on yksi vastaava asentaja, joka työskentelee päivävuorossa.

Kokoonpano alkaa linjalla, kun ensimmäiselle asemalle tuodaan koneen takarunko. Runko asetetaan liikuteltavien pukkien päälle. Kone siirretään pukkeineen seuraavalle asemalle aina, kun kyseisen linjan tehtävät on suoritettu. Näin linjalla voidaan käytännössä kokoonpanna viittä eri vaiheissa olevaa konetta samanaikaisesti.

Koska linjalla valmistettava kone on dieseltöiminen, sen kokoonpano poikkeaa toisesta tarkasteltavasta lastarista. Dieseltöimisissä koneissa ei ole samanlaisia suuria sähkökomponentteja, joita sähköasentajien on varustettava. Näin sähköasentajien työt kulkevat selkeämmin mekaniikka-asentajien töiden rinnalla. Työt on kuitenkin pyritty järjestämään siten, että asentajat pystyvät toimimaan samanaikaisesti eri puolilla konetta.

3.2 Työn vaiheet ja tutkimusmenetelmien kuvaus

3.2.1 Teoreettinen viitekehys ja kohdeyrittäjä

Työ aloitettiin kokoamalla teoreettinen viitekehys ergonomiasta ja tuotekehityksestä sekä kirjallisuuden että tehtyjen tutkimusten ja artikkelien valossa. Kirjallisuuden osalta pyrittiin löytämään mahdollisimman luotettavia ja myös tuoreita lähteitä. Myös internetin kautta löydettyjä lähteitä käytettiin, jos lähde voitiin arvioida luotettavaksi. Ergonomian osalta aineiston tuoreuteen kiinnitettiin enemmän huomiota, koska ergonomian tiedostaminen tärkeänä paranevat jatkuvasti ja kehitystä on tapahtunut viime aikoina myös siihen liittyvän teorian osalta. Työssä käsiteltävät tuotekehityksen menetelmät ovat kuitenkin selkeästi vanhempia, joten näiden osalta myös vanhemmat lähteet hyväksyttiin. Löydettyjen artikkelien osalta tuoreuteen kiinnitettiin erityistä huomiota, koska työhön haluttiin sisällyttää vain viimeisimmät mahdolliset tutkimustulokset.

Seuraavaksi alettiin kerätä sekä perustietoa yrityksestä että tietoa vallitsevista toimintaohjeista ja toimintatavoista. Perustietoja haettiin yrityksen julkisilta internetsivuilta ja toimintaohjeistuksia etsittiin yrityksen intranetistä. Samalla haettiin tietoa myös työssä käsitellyistä koneista. Näitä koskien tietoa kerättiin myös haastattelemalla ihmisiä tuotannosta ja tuotekehityksestä. Haastatteluissa selvitettiin myös tuotantosolun ja tuotantolinjan toiminta, joissa työssä käsiteltäviä koneita valmistetaan.

3.2.2 Tuotannon kyselylomakkeen muodostaminen

Varsinainen tutkimus aloitettiin muodostamalla kyselylomake tuotannossa valmistettavissa koneissa olevien ongelmien selvittämiseksi. Tämä tehtiin käyttäen mallina Työterveyslaitoksen kehittämiä menetelmiä ja niissä käytettäviä kyselylomakkeita. Mallina käytetyt menetelmät olivat jo teoriaosassa esiteltyt Tyytyväisyys työympäristöön, Työpaikan ergonomia ja Työpaikan ergonomian tarkastusohje. (Työterveyslaitos 2009; Työterveyslaitos 2011a) Menetelmien kuvauksista sai myös selkeitä ajatuksia tärkeimmistä asioista, ja näiden pohjalta kyselyitä oli helpompi painottaa oikeaan suun-

taan. Lomake tehtiin käytettäväksi kahden eri koneen valmistuksen tutkimiseksi. Vaikka koneet sinällään ovat hyvin erilaisia, samat kysymykset sopivat molempiin kohteisiin. Näin lomakkeisiin ei tehty muita eroja kuin merkintä kyselyn kohteena olevasta kone-tyypistä. Lomake on työn liitteenä (liite 1).

Tavoitteena oli tehdä kyselylomakkeesta mahdollisimman lyhyt ja ytimekäs, jotta vastauksia saataisiin mahdollisimman paljon ja lomakkeet täytettäisiin loppuun asti. Lomakkeen alussa kysytään, onko kyselyyn vastaaja mekaniikka- vai sähköasentaja ja kuinka pitkä työkokemus asentajalla on kyseisen konetyypin osalta. Näiden jälkeen lomakkeessa on kaksi pääkohtaa, joiden alla oleviin monivalintakysymyksiin vastataan vaihtoehtoilla ”kyllä” tai ”ei”. Alakohtien jälkeen vastaajaa pyydetään kuvaamaan ongelmia tarkemmin, jotta vastaaja erittelisi kokemansa ja havaitsemansa ongelmat. Käytännössä kysymyksillä pyritään siis saamaan vastaaja miettimään tärkeimpiä kohteita ja kirjoittamaan ajatuksensa tiivistetysti kysymysten alle.

Ensimmäisessä kohdassa kysytään, onko koneessa osia tai osakokonaisuuksia, joita on hankala käsitellä tai jotka ovat painavia tai hankalasti asennettavia. Käsittelyn ja asennettavuuden osalta kohtiin on merkitty sulkuihin esimerkkejä huonosta käsiteltävyydestä ja asennettavuudesta, jotta kysymys olisi helpompi ymmärtää oikein ja vastaaja saisi ajatuksia siitä, minkälaisia ongelmia voisi mahdollisesti olla. Painavuuden osalta arvion tekeminen on jätetty vastaajan oman harkinnan varaan.

Toinen kohta koskee valmistuksessa olevia työvaiheita. Työasunnoista kysytään, onko työskenneltävä huonossa asennossa, kestääkö kuormittuminen pitkään, toistuvatko jotkin liikkeet ja onko tilanteita, joissa ei voi käyttää apuvälineitä tai kaveria apuna tarpeesta huolimatta. Jälleen huonosta asennosta, kuormittumisesta ja apuvälineiden käytöstä on annettu esimerkkejä kysymysten yhteydessä. Viimeisenä kyselylomakkeessa on kohta parannusehdotuksille, joita vastaajilla olisi. On kuitenkin selvää, että asentajat tuntevat työnsä parhaiten ja voivat omata erittäin hyviä ratkaisuja ongelmiin.

3.2.3 Tuotannon kyselyiden kulku ja vastausten määrä

Kysely tuotannossa toteutettiin yhdessä solussa ja yhdellä linjalla. Solussa lomakkeet jaettiin kaikille työntekijöille ja lomakkeet täytettiin soluvastaavan johdolla. Lomakkeiden täytössä tehtiin osittain myös yhteistyötä, joten kaikilta työntekijöiltä ei saatu erillisiä vastauksia. Lomake jaettiin kaikille solun työntekijöille eli kaikkiaan niitä oli 14 kappaletta. Vastauksia palautettiin kuusi kappaletta. Kyselylomakkeita ei täytetty myöskään kovin huolellisesti ja kyselylomakkeessa oleviin monivalintakysymyksiin ei saatu juuri vastauksia. Tärkein asia silti saavutettiin ja konkreettisia ongelmia oli listattu vastauksiin. Vastausten keräämisen ja ongelmien listaamisen jälkeen soluun palattiin tekemään tarkennuksia saatuihin vastauksiin. Tästä tehtiin myös tarkemmat muistiinpanot, jotta tuloksista saatiin riittävän hyvät analysoitaviksi.

Linjalla työntekijöiden määrä on suurempi, joten siellä kysely toteutettiin jakamalla kyselylomakkeita vain linjan asemien vastaaville. Asemavastaavien vastuulla oli kerätä vastaukset koko aseman työntekijöiltä. Varsinaisten linjan asemien lisäksi vastaukset pyydettiin myös linjan yhteydessä olevalta eturunkoasemalta sekä kaikilla asemilla toi-

mivilta sähköasentajilta. Lomakkeita jaettiin linjalla siis seitsemään kohteeseen. Ensimmäiseltä asemalta palautettiin kaksi lomaketta, joten palautettujen lomakkeiden määrä oli kahdeksan kappaletta. Linjalla lomakkeet täytettiin perusteellisemmin ja vastauksia saatiin myös pikkukysymyksiin. Myös linjan asemille palattiin tekemään tarkennuksia ja selvennyksiä vastauksiin.

3.2.4 Kyselylomakkeilla saatujen tulosten raportointi ja käsittely

Kaikki lomakkeista saatujen monivalintakohtien vastausten määrät sekä löydetty ongelmakohdat taulukoitiin. Ongelmakohdat sisältäviin taulukoihin kirjoitettiin myös lyhyet kuvaukset ongelmista sekä mahdolliset asentajien korjausehdotukset. Tämän jälkeen kaikista ongelmakohdista otettiin tuotannon tiloissa kuva ja tilanteista kirjoitettiin vielä laajempi kuvaus. Näin pyrittiin selvittämään, mistä kussakin ongelmakohdassa on kyse. Tämän jälkeen ongelmakohdient perusteella muodostettiin kuusi erillistä ongelma-luokkaa, joihin ongelmakohdat jaettiin. Tämän perusteella pyrittiin havaitsemaan, millaisia asennusergonomiaan liittyviä ongelmia esiintyy eniten.

Joidenkin ongelmien osalta haluttiin selvittää mahdollisuuksia parantaa työvaiheen ergonomiaa. Tämä toteutettiin yhteistyössä konetyypeistä vastuussa olevien tuoteinsinöörien kanssa. Löytyneiden ongelmien listaukset käytiin heidän kanssaan läpi tarkoituksena löytää ongelma-kohta, johon ratkaisun löytäminen olisi mahdollista. Sopivien ongelma-kohtien valinnan jälkeen pyrittiin ideoimaan vapaan keskustelun muodossa ehdotuksia sopiviksi ratkaisuksiksi. Ratkaisujen hyviä ja huonoja puolia pohdittiin avoimesti.

3.2.5 Tuoteinsinöörien haastattelut

Tuoteinsinöörien haastattelut toteutettiin pienissä ryhmissä, jotta keskustelusta saatiin mahdollisimman avointa. Toisaalta myös esille tulleiden ajatusten ja ideoiden kirjaaminen oli huomattavasti helpompaa, kun osallistujia oli vähemmän. Tuoteinsinöörit jaettiin satunnaisesti kahteen kolmen hengen ryhmään ja yhteen kahden hengen ryhmään, joten haastattelutilaisuuksia pidettiin yhteensä kolme kappaletta. Haastattelutilaisuuksien kesto oli yksi tunti.

Haastattelun tarkoituksena oli selvittää tuoteinsinöörien näkemyksiä asennusergonomiasta ja siitä olevista ajatuksista. Tarkoituksena oli myös kerätä mielipiteitä siitä, millaista ohjeistusta asiasta toivotaan. Tällä tavoin ohjeistus on helpompi saada toimivammaksi ja osallistumisen kautta myös ohjeistuksen saaminen käyttöön voi helpottua. Keskustelua pyrittiin käymään seuraavanlaisten aiheiden mukaan:

- Miten asennusergonomiaa huomioidaan suunnittelussa?
- Millaisia asennusergonomiaa koskevia ongelmia on tullut vastaan?
- Miten asennusergonomiaa pitäisi huomioida?
- Millaista yhteistyötä tuotannon ihmisten kanssa tehdään?
- Millaisiin seikkoihin ohjeistuksessa pitäisi kiinnittää huomiota?

- Millaisia ajatuksia tuotannosta löytyneistä ongelmakohdista herää?

Keskustelutilaisuus pidettiin mahdollisimman vapaamuotoisena ja tulokset kirjattiin keskustelun edetessä. Mitään ajatuksia ei karsittu ja kaikki asiaan liittyvä pyydettiin tuomaan esille.

3.2.6 Tuotesuunnittelun ohjeistuksen muodostaminen

Ohjeistuksen muodostamiseksi ei löydetty sopivia ohjeita kirjallisuudesta tai artikkeleista. Etsintään ei kuitenkaan haluttu kuluttaa ylettömästi aikaa, joten sopivia keinoja alettiin kartoittaa muun työn edetessä. Työssä oli tarkoitus kartoittaa tuotannossa esiintyviä ergonomisia ongelmia muutenkin ja niiden perusteella havaittiin mahdollinen keino myös ohjeistuksen muodostamiseksi. Ohjeistuksen varsinaisena pohjana päätettiin käyttää jaottelua ongelmaluokkiin. Tavoitteena oli muodostaa luokille nimet, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin löydettyjä ongelmakohdita. Tämän jälkeen alettiin pohtia syitä, jotka johtavat ongelmaluokkien kuvaamiin tilanteisiin. Sitä kautta pyrittiin löytämään yksinkertaisia ohjeita, joilla kyseisiä syitä ja samalla ongelmia voitaisiin välttää.

Ongelmaluokat järjestettiin ensin sen mukaan, kuinka monta kuhunkin luokkaan kuuluvaa ongelmakohdita löydettiin. Tämän perusteella havaittiin, mikä ongelmien lukumäärän mukaan on pahin luokka. Ongelmaluokat käsiteltiin saadun järjestyksen mukaisesti, mutta sen perusteella ei jätetty yhtään luokkaa kuitenkaan käsittelemättä. Yksittäisiä ongelmakohdita ei lähdetty tässä vaiheessa vertailemaan toisiinsa. Seuraavaksi pyrittiin löytämään tapoja ongelmien huomioimiseksi tuotekehityksen keinoin. Luokkien kuvausten sekä luokkiin jaoteltujen ongelmakohditen perusteella mietittiin ensin, millaisia ongelmia kuhunkin luokkaan kuului sekä millaisia kyseisten ongelmien ominaispiirteet ovat. Mahdollisimman yleisten ominaispiirteiden perusteella mietittiin edelleen ratkaisuja, joilla asioita voitaisiin huomioida tehokkaammin.

Saatujen ratkaisujen mukaan alettiin muodostaa listausta tarkoituksenmukaisen ohjeistuksen aikaansaamiseksi. Pällekkäiset tai osittain päällekkäiset ratkaisut pyrittiin yhdistämään ja toisaalta kaikki ratkaisut pyrittiin muotoilemaan yksinkertaisiksi ja selkeiksi. Tämän lisäksi hyödynnettiin tuoteinsinöörien haastatteluista saatuja mielipiteitä ja ehdotuksia ohjeistuksessa huomioitavista asioista sekä sen muotoilusta. Tätä kautta saatiin muodostettua listaus mahdollisimman yleispätevistä ohjeista asennusergonomian huomioimiseksi.

4 TULOKSET

4.1 Tuotannon kyselyn monivalintakysymysten vastausten painottuminen

Sähkötoimisen lastarin osalta toteutetussa kyselyssä palautettiin yhteensä kuusi vastauslomaketta ja dieselmoottorilla varustetun lastarin osalta täytettyjä lomakkeita saatiin kahdeksan kappaletta. Monivalintakysymyksistä saatujen kyllä ja ei -vastausten määrä on nähtävissä konekohtaisesti taulukoissa 4.1 ja 4.2.

Taulukko 4.1 Monivalintakysymysten vastausten jakautuminen sähkötoimisen lastarin valmistettavuuden osalta

Tarkasteltava konetyyppi: LH514E			
Palautettujen vastausten lkm: 6			
Kohta		Vastausten lkm	
		kyllä	ei
Onko koneessa osia tai osakokonaisuuksia, jotka	ovat hankalia käsitellä?	1	1
	ovat painavia?	1	1
	ovat hankalasti asennettavia?	2	-
Onko valmistuksessa työvaiheita, joissa	on työskenneltävä huonossa asennossa?	2	-
	kuormittuminen kestää pitkään?	2	-
	on paljon toistuvia liikkeitä?	1	1
	ei ole mahdollista käyttää apuvälinettä tai toista henkilöä apuna tarpeesta huolimatta?	-	-

Taulukko 4.2 Monivalintakysymysten vastausten jakautuminen dieselmoottorilla varustetun lastarin valmistettavuuden osalta

Tarkasteltava konetyyppi: LH517			
Palautettujen vastausten lkm: 8			
Kohta		Vastausten lkm	
		kyllä	ei
Onko koneessa osia tai osakokonaisuuksia, jotka	ovat hankalia käsitellä?	7	-
	ovat painavia?	7	-
	ovat hankalasti asennettavia?	7	-
Onko valmistuksessa työvaihteita, joissa	on työskenneltävä huonossa asennossa?	7	-
	kuormittuminen kestää pitkään?	3	4
	on paljon toistuvia liikkeitä?	-	7
	ei ole mahdollista käyttää apuvälinettä tai toista henkilöä apuna tarpeesta huolimatta?	3	4

Sähkötoimisen lastarin asennettavuutta koskevissa lomakkeissa vain kahdessa oli vastattu monivalintakysymyksiin. Näissä kahdessakaan lomakkeessa ei ollut kuitenkaan vastattu kaikkiin monivalintakohtiin, joten saadut tulokset jäivät suppeiksi. Dieselmoottorilla varustetun lastarin osalta toteutetussa kyselyssä seitsemässä lomakkeessa oli vastattu monivalintakysymyksiin, joten niistä on mahdollista päätellä, missä ongelmien painopiste on.

4.2 Tuotannon kyselyn kautta nykyvalmistuksessa esille tulleet ongelmat

4.2.1 Sähkötoimisen lastarin valmistettavuudesta saadut tulokset

Sähkötoimisen lastarin valmistettavuudessa löytyi kymmenen selkeästi nimettävää ongelma-kohtaa. Asentajilla on suurimpaan osaan ongelmista ainakin ehdotus siitä, miten tilannetta olisi mahdollista parantaa. Sähkötoimisen lastarin valmistettavuudessa löytyneet ongelmat on listattu taulukossa 4.3. Ongelmat on merkitty taulukkoon satunnaisessa järjestyksessä ja ne on merkitty tunnuksella E, joka viittaa sähkötoimisuuteen, sekä numerolla. Taulukossa ongelmat on kuvattu karkeasti ja viimeiseen sarakkeeseen on merkitty asentajien mahdollinen ehdotus ongelman korjaamiseksi.

Taulukko 4.3 Sähkötoimisesta lastarista LH514E löytyneet valmistukseen liittyvät ergonomiset ongelmakohdat

	Ongelma	Ongelman kuvaus	Vastaajien korjausehdotukset
E1.	Jarrunvapautuspumpun asennus	Pumppu joudutaan asentamaan ahtaaseen koloon.	Nostoapuväline
E2.	Koneen alla tapahtuva asennustyö	Koneen alla on ahdasta, liikaista ja vetoista ja työ on raskasta.	Mahdollisuus nostaa tai kääntää konetta, säädettävät makuualustat.
E3.	Alakardaanin asennus	Kardaani asennetaan vaihde- laatikon ja taka-akselin väliin. Ahtaassa tilassa työskennel- lään polvillaan. Työkalujen kanssa ei mahdu kunnolla työskentelemään ja kardaani painaa paljon.	Nostoapuväline
E4.	Ilmastointilaitteen asennus	Kiinnitysruuvit hankalassa paikassa. Asentaja joutuu menemään ilmastointilaitteen alle.	-
E5.	Jarrujen paineakkujen asentaminen	Akut painavia ja hankalan muotoisia. Asennettava hankalaan paikkaan.	Nostoapuväline
E6.	Hännän keskityssylinterien asentaminen	Sylinterit on asennettava käsin kyykkien koneen päällä.	-
E7.	Liukurenkaan asentaminen	Liukurenkaan pultit on asennettava ja kiristettävä huonossa asennossa ja ahtaassa tilassa.	-
E8.	Sähkökaappien kytkentä	KytKentäkorkeus on huono. Asentaja joutuu työskentelemään kyyryssä.	Säädettävä asennustaso, kaappien valmistaminen etukäteen.
E9.	Sähkökeskusten kalustaminen/ johdottaminen	Kalustettava tila on ahdas.	Asennon parantaminen.
E10.	Johtosarjojen ja kaapelien levittäminen	Riippuu paljon siitä, missä vaiheessa mekaniikka-asennus on. Etenkin loppuvaiheessa hytin edustan kaapelien vetäminen hankalaa ahtauden takia.	Mekaniikka- ja sähköasennusten järjestyksen suunnittelu.

Ongelmassa E1 jarrunvapautuspumppu asennetaan ahtaaseen väliin. Ahdas asennustila aiheuttaa luonnollisesti ongelmia, mutta hankalampi seikka on asennettavan kokonaisuuden hankala muoto sekä verrattain suuri paino. Koska tila on ahdas, pumppua on hankala kannatella samalla, kun pultit pitäisi saada osumaan reikiinsä. Pumppua ei

myöskään pysty kannattelemaan hallinosturilla, koska pumppu asennetaan rungon kan-
nen alapuolelle. Asentajat ehdottivat korjaavaksi toimenpiteeksi nostoapuvälineen kehit-
telemistä. Jarrunvapautuspumppu ja sen paikka on nähtävissä kuvassa 4.1.

Ongelma E2 koskee koneen alla tehtäviä asennustöitä. Koneen alla on ahdasta, joten
työ joudutaan pääosin tekemään kyyryssä tai kyykyssä. Vaikka kokoonpantavat koneet
ja kaikki niihin asennettavat osat ovat uusia, koneen alle kerääntyy silti rasvaa, öljyä ja
esimerkiksi metallilastuja, mikä hankaloittaa osaltaan työskentelyä. Lähellä lattiaa on
myös vetoista. Koneen alla työskentely tarkoittaa sitä, että työskentelykohteet sijaitsevat
tällöin useimmiten hartiatasen yläpuolella. Tämä tekee työskentelystä paljon raskaam-
paa. Asentajien ehdotus tilanteen parantamiseksi oli mahdollistaa koneen kääntäminen,
jolloin työ pystyttäisiin tekemään sivulta, tai koneen nostaminen, jolloin koneen alle
mahtuisi paremmin työskentelemään. Ehdotuksena tuli myös säädettävät makuualustat.
Kuvassa 4.2 näkyy työskentelyä koneen alla.



Kuva 4.1 Ongelma E1, jarrunvapautuspumppu ja sen paikka

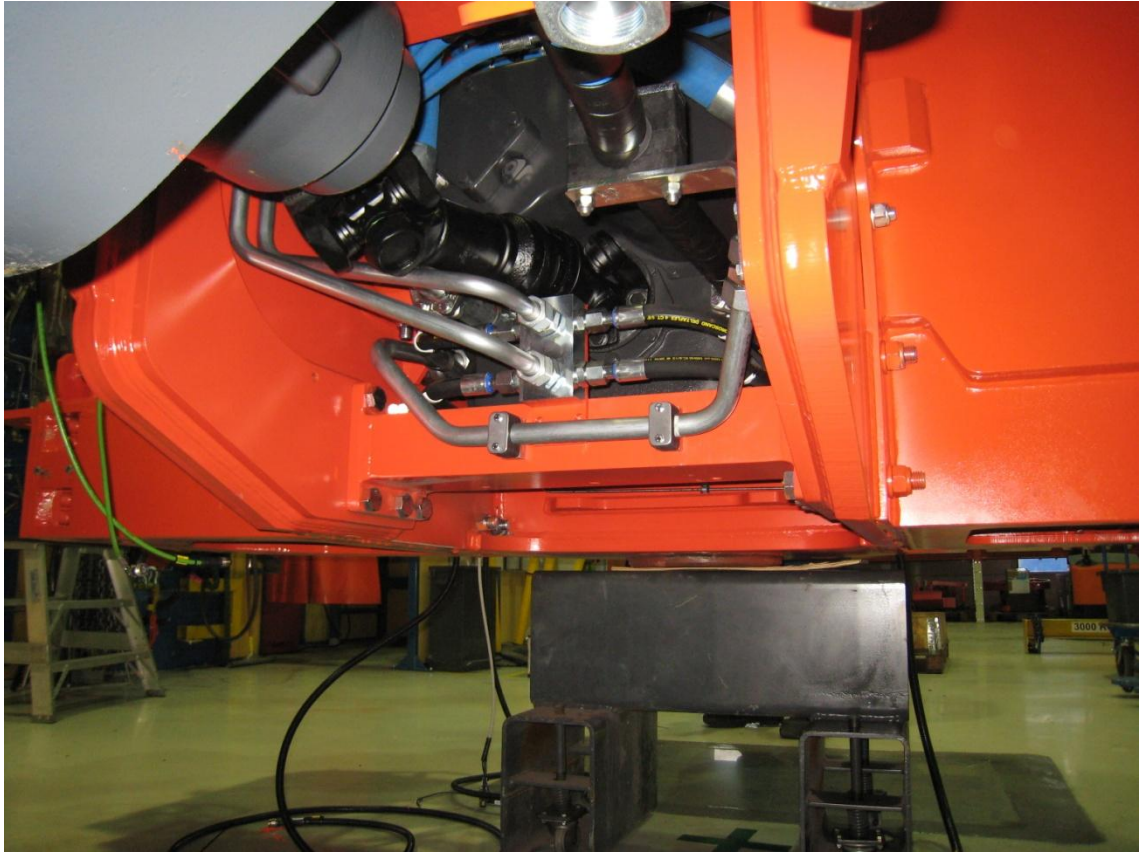
Ongelma E3, alakardaanin asennus tapahtuu rungon alla ahtaassa tilassa, joten sii-
hen liittyy paljon samoja ongelmia kuin edellisessä kohdassa on lueteltu. Kardaani tulee
vaihdelaatikon ja taka-akselin väliin siten, että ensin kiinnitetään toinen pää, jonka jäl-
keen kardaani vedetään käsin oikeaan mittaun ja pystytään kiinnittämään toinen pää.
Tässä kuitenkin tarvitaan paljon voimaa ja tila on ahdas, joten vaarana on myös saada
kolhuja esimerkiksi päähän. Vaihdelaatikon pään asennuksessa on kuroteltava, jotta
kiinnityspultit ylettyy kiinnittämään. Työkalut mahtuvat huonosti vapaaseen tilaan, jo-

ten tämäkin vaikeuttaa työskentelyä. Kardaani on painava osa, joten kannattelu käy voimille. Kannattelua on mahdollista helpottaa ylhäältä rungon välistä vedetyillä liinoilla ja nosturilla. Korjausehdotuksena on nostoapuvälineen kehittäminen. Alakardaani ja sen sijainti näkyvät kuvassa 4.3.



Kuva 4.2 Ongelma E2, työskentelyä koneen rungon alla

Ongelma E4, ilmastointilaitteen asennus aloitetaan asentamalla ensin erilliset saranaosat löysästi koneen runkoon. Tämän jälkeen varsinainen ilmastointilaite nostetaan nosturilla saranaosien päälle, jolloin saranat voidaan yhdistää pulteilla ilmastointilaitteeseen. Tämän jälkeen kiinnitetään vielä saranoissa kiinni olevat kaasujouset ilmastointilaitteen kylkeen. Kaasujousien tehtävä on keventää ilmastointilaitteen kääntämistä pystyasentoon esimerkiksi huollon yhteydessä. Kaasujousien jäykkyyden takia on tärkeää, että kaikki kiinnityspultit ovat vielä löysässä. Näin jousien kiinnittäminen onnistuu helpommin ja ilman suurta voimaa. Viimeisenä kaikki kiinnityspultit kiristetään. Koko työ joudutaan tekemään huonossa asennossa koneen päällä. Työskentelyalue on epätasainen ja koneen päällä on vähän paikkoja, joihin olisi hyvä nojata. Yhden työskentelyvaiheen asento on nähtävissä kuvassa 4.4.



Kuva 4.3 Ongelma E3, alakardaanin sijainti

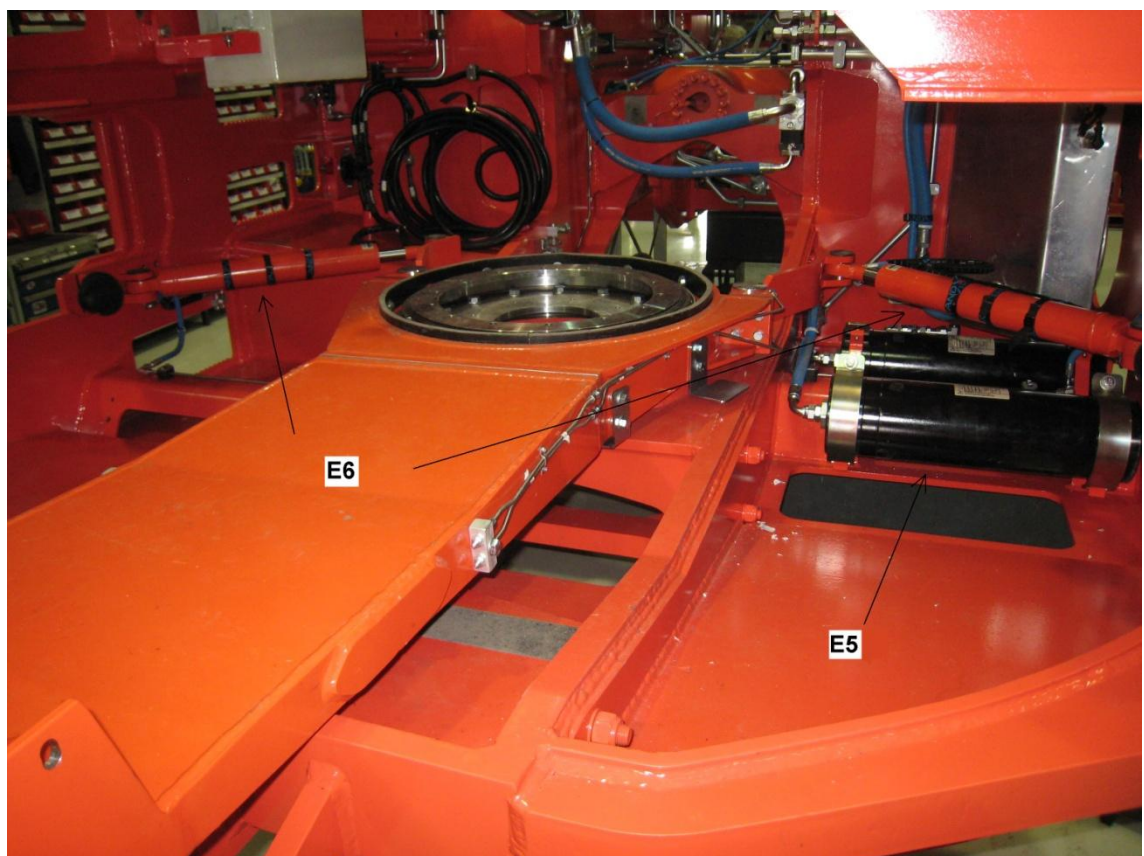


Kuva 4.4 Ongelma E4, eräs työskentelyasento ilmastointilaitteen asennuksessa

Ongelma E5, jarrujen paineakkujen asentaminen aiheuttaa ongelmia painonsa ja muotonsa takia. Paineakut asennetaan alas takarungon perään. Alusta akkujen ympärillä on epätasainen, mikä aiheuttaa myös hankaluutensa asennukseen. Akkujen asennuksessa on käytännössä oltava kyykyssä ja kyyryssä ja painavan akun kanssa on kuljettava koneen päällä, mistä aiheutuu lisää riskejä. Apuna voi käyttää myös nosturia, mutta akkujen sijainnin takia niitä ei kuitenkaan pysty laskemaan suoraan paikalleen. Ainut asentajilta tullut ehdotus helpottamaan työtä oli nostoapuväline, mutta siitäkään ei uskottu olevan merkittävää apua. Paineakkujen sijainti näkyy kuvasta 4.5.

Ongelma E6, hännän keskityssylinterien asentaminen sisältää suunnilleen samat seikat kuin ongelma E5. Sylinterit ovat kevyempiä ja erimuotoisia kuin paineakut, mutta sijainti on paineakkujen kanssa melkein sama. Asennus on siis tehtävä kyyryssä ja sylinterit on vietävä paikallensa hankalaa reittiä. Myös sylinterien sijainti on näkyvissä kuvassa 4.5.

Ongelma E7, liukurenkaan asentaminen on vaikeaa ahtauden ja pulttien vaikean sijainnin takia. Liukurengas nostetaan nosturilla paikoilleen, mutta pultit on kiinnitettävä kyyryssä paikkaan, joka sijaitsee seisonatason alapuolella. Kaikki pultit saadaan kiinnitettyä samasta raosta, koska liukurenkaan yläosa on kiinni rungossa, eikä pääse pyörimään, ja alaosa taas voi pyöriä vapaasti. Liukurenkaan asentaminen näkyy kuvassa 4.6.



Kuva 4.5 Ongelmat E5 ja E6, jarrujen paineakkujen ja hännän keskityssylinterien sijainti



Kuva 4.6 Ongelma E7, liukurenkaan asentaminen

Ongelma E8, sähkökaappien kytkentä johtuu hankalasta kytkentäkorkeudesta. Kytkennessä kaappi yhdistetään ympäri konetta vedettäviin sähköjohtoihin ja johtosarjoihin. Tämä tehdään koneen ollessa korkeampien pukkien päällä. Tämän takia kytkentä ei onnistu lattialta käsin, vaan apuna on käytettävä tasoa, jonka päällä voi seistä. Saatavilla olevilla tasoilla ei kuitenkaan pääse työskentelemään ergonomisesti hyvässä asennossa, vaan työ on tehtävä kyyryssä. Tason päällä työskentelyssä myös työkaluja on haettava lattiatasolta, mistä aiheutuu kuormitusta. Korjausehdotuksena on säädettävien asennustasojen hankkiminen tai kaappien kalustaminen niin aikaisin, että ne voidaan kytkeä jo koneen ollessa alhaalla. Sähkökaappien kytkentäkorkeus on nähtävissä kuvasta 4.7.

Ongelma E9, sähkökeskusten kalustaminen/johdottaminen on vaikeaa kalustettavan tilan ahtauden takia. Etenkin paljon ominaisuuksia ja automaatiota sisältävissä koneissa myös sähköjen osuus kasvaa. Tällöin sähkökeskuksiin on asennettava paljon osia, mikä vaikeuttaa työtä entisestään. Sähkökeskusten kalustamiseen on saatu uudet asennuspöydät, mutta työskentelyasento on edelleen hankala, koska kaapin perälle asennettavia osia on kuroteltava pienessä tilassa. Korjausehdotuksena annetaan asennon parantaminen kalustusvaiheessa. Sähkökeskus X5 on nähtävissä esimerkkinä ahtaudesta kuvassa 4.8. Kuvassa näkyy osittain myös asennuspöytä.



Kuva 4.7 Ongelma E8, sähkökaapin asennuskorkeus asennustason päällä seistessä



Kuva 4.8 Ongelma E9, sähkökeskus X5 asennuspöydällä

Ongelma E10, johtosarjojen ja kaapelien levittäminen tarkoittaa koko koneessa tehtäviä sekä valmiiden johtosarjojen että erillisten kaapeleiden vetämistä kohteiden välille. Johdotukset vedetään pitkin niitä varten asennettuja kouruja tai erillisiä kiinnikkeitä varten tehtyjen reikien mukaan. Jälleen etenkin automaatiokoneissa kourut ovat ahtaita suurien johtomäärien takia. Ongelmana on myös riippuvuus mekaniikka-asennuksen etenemisestä. Useissa paikoissa johdotuksia on vedettävä ja kiinnitettävä huonossa asennossa. Valmiit johtosarjat on varustettu liittimillä jo aiemmin ja ne vain liitetään kohteeseen. Osa kaapeleista on kuitenkin mitoitettava ja varustettava oikeilla liittimillä paikan päällä. Jos johto on vedettävä paikalleen ennen sen katkaisemista oikeaan mitaansa ja varustamista oikeilla liittimillä, sähköasentaja joutuu luultavasti työskentelemään jälleen huonossa asennossa. Asentajien ehdotuksen mukaan tilanne paranisi muuttamalla mekaniikka- ja sähköasennusten järjestystä. Kuvasta 4.9 nähdään asento, jossa kaapeleita vedetään koneen takaosaan.



Kuva 4.9 Ongelma E10, kaapeleiden vetämistä koneen takaosassa

Asentajien kanssa käydyissä keskusteluissa selvisi, että ongelmakohtia on olemassa ympäri konetta enemmänkin, mutta silti niitä on hankala eritellä tai ne liittyvät jollain tavalla jo nimettyihin ongelmiin.

4.2.2 Dieselmoottorilla varustetusta lastarista saadut tulokset

Dieselmoottorilla varustetusta lastarista pystyttiin nimeämään kahdeksan selkeästi erotuvaa ongelmakohtaa. Myös dieselmoottorilla varustetussa lastarissa on enemmän val-

mistettävyyteen liittyviä ongelmakohtia, mutta asentajat eivät osanneet tarkasti nimetä niitä enempää. Löytyneet ongelmakohdat on listattu taulukossa 4.4. Ongelmakohdat ovat jälleen satunnaisessa järjestyksessä ja ne on merkitty kirjaimella D, joka viittaa dieselmoottoriin, sekä numerolla.

Taulukko 4.4 Dieselmoottorilla varustetusta lastarista LH517 löytyneet valmistukseen liittyvät ergonomiset ongelmakohdat

	Ongelma	Kuvaus	Korjausehdotus
D1.	Vaihteiston korvien asennus	Hankalat ja painavat nostaa paikoilleen.	Aputyökalujen kehittäminen
D2.	Pitkän kardaanin asentaminen	Hankalat työasennot.	Työjärjestyksen korjaus
D3.	Taka-akselin asennus	Hankalat työasennot.	Työjärjestyksen korjaus
D4.	Jarruputkien liittäminen	Hankalat työasennot	-
D5.	Nivelen ylä- ja alatappien asennus	Tapit painavia, sovittaminen ajoittain hankalaa.	-
D6.	Ylätapin alapuolisen laipan momenttiin kiristäminen	Vaatii voimaa, tehtävä käsin.	-
D7.	Kauhan asennus	Hitsattavat sisälaipat asennettava käsin huonossa asennossa.	-
D8.	Koeajon jälkeinen huolto	Voimansiirron suodatin ja jarrupainesuodatin ovat hankalassa paikassa vaihtaa.	-
D9.	Paineensäätötyö	Jarrupumpun, kauhapumpun ja puhallinpumpun säätimet ovat vaikeassa paikassa päästä käsiksi.	-
D10.	Nivelakselin yhdistämisen etuakseliin	Ahdas kardaanitunneli	-
D11.	Huuhteluputkien asennus	Ahdas kardaanitunneli	-
D12.	Kipin alapään rasvapatterin asennus	Ahdas kardaanitunneli	-
D13.	Rasian x3056 asentaminen	Rasia on painava ja hankala nostaa paikoilleen, koska siinä on kiinni useita pitkiä johtosarjoja.	-
D14.	Rasiaan x3065 liittyvät korjaukset	Eryityisesti automaatiokoneissa väli, jossa työskennellään, on todella ahdas.	Rasian sijoituksen muuttaminen.

Ongelma D1, vaihteiston korvien asennus joudutaan tekemään ahtaassa tilassa ja huonossa asennossa. Korvia on yhteensä neljä, joista kaksi sijaitsee vaihteiston etupuo-

men avulla. Työ rasittaa käsiä ja hartioita sekä selkää työasennon takia. Asentajien korjausehdotuksena on työjärjestyksen muuttaminen. Taka-akselin sijainti ja sen alla oleva tila on nähtävissä kuvassa 4.12.



4.11 Ongelma D2, pitkän kardaanin sijainti

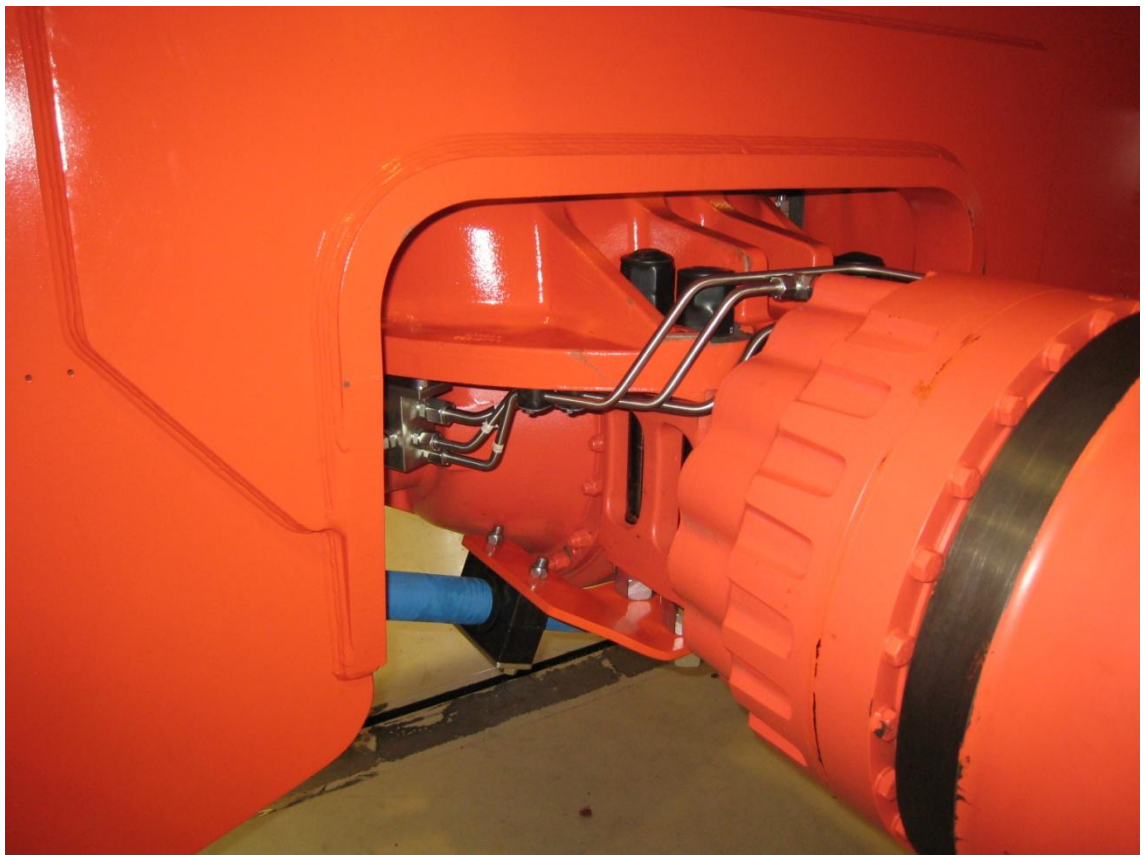
Ongelma D4, jarruputkien liittäminen sisältää samoja ongelmia kuin taka-akselin asennus. Asennus tehdään samassa tilassa kuin taka-akselin asennus, joten asennot ovat suunnilleen samanlaiset. Tässä ei kuitenkaan tarvitse käsitellä painavia taakkoja. Liittimien kiristämisessä tarvitaan kuitenkin jonkin verran voimaa, mistä voi aiheutua huonon asennon takia rasituksia. Jarruputkien sijainti on nähtävissä kuvassa 4.13.

Ongelma D5, nivelen ylä- ja alatappien asennus tehdään tuomalla ylätappi koneen päälle ja alatappi koneen väliin lattialta käsin. Tapit painavat paljon ja ne on käytännössä nostettava ja sovitettava paikoilleen käsin. Eturunkoa kannatellaan tällöin nosturilla, jotta tappien reiät saadaan osumaan samaan kohtaan ja tappi menisi paikoilleen. Osittain myös välyksistä johtuen tapit menevät toisinaan helpommin paikoilleen, mutta välillä niitä on lyötävä lekalla, jolloin vartaloon kohdistuu enemmän rasitusta. Tappien sijainti on nähtävissä kuvasta 4.14.

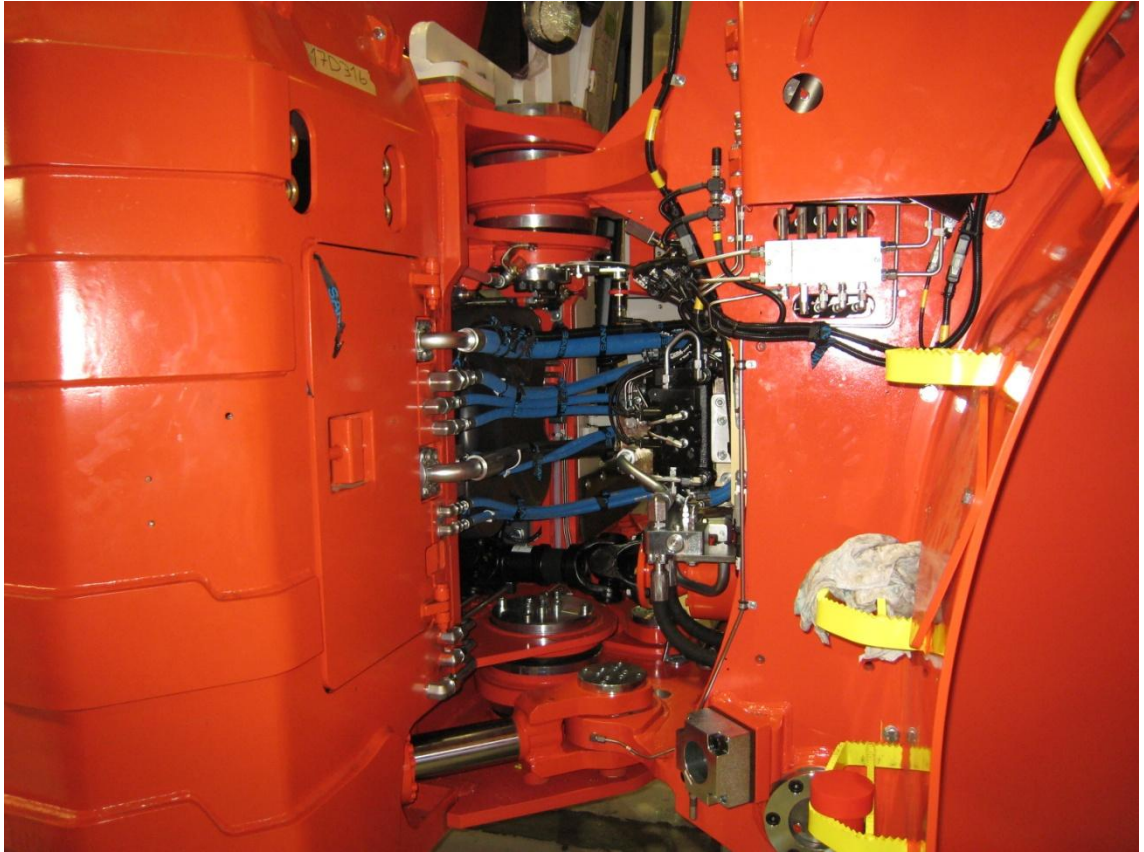
Ongelma D6, ylätapin alapuolisen laipan momenttiin kiristäminen tehdään käsin ja siinä on käytettävä erityisen paljon voimaa. Käytännössä kiristäminen on tehtävä kolmen miehen voimin. Kiristyksessä käytettävässä avaimessa on pitkä jatkovarsi ja vääntämisessä ei pysty hyvin tukeutumaan mihinkään, joten koko kehoon aiheutuu rasitusta. Laipan sijainti on nähtävissä kuvassa 4.14 ja tarkemmin kuvassa 4.15.



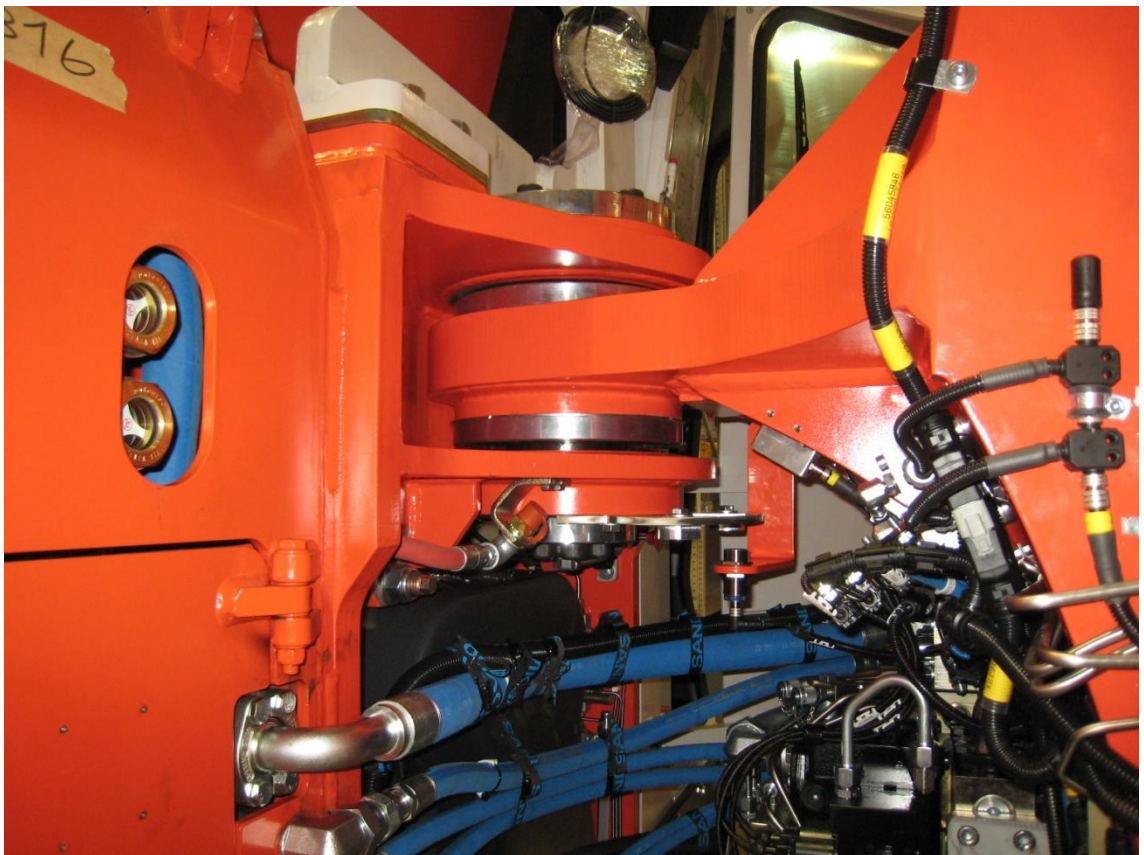
4.12 Ongelma D3, taka-akselin sijainti ja etäisyys maasta asennusvaiheessa



4.13 Ongelma D4, jarruputkien sijainti taka-akselin sivulla



4.14 Ongelma D5, nivelen ylä- ja alatapin sijainti



4.15 Ongelma D6, ylätapin alapuolisen laipan sijainti

Ongelma D7, kauhan asennus tehdään kauhan sisäpuolelta. Tapit, joilla kauha kiinnitetään, työnnetään kauhan keskellä olevasta aukosta sekä kauhassa että nostovarressa olevien reikien läpi vasten reiän perällä olevaa laippaa. Tapin liikkuminen estetään kiinnittämällä myös reiän toiseen päähän laippaa. Lopuksi kauhassa oleva aukko suljetaan hitsaamalla viimeinen laippa reiän päälle. Suurimmat ongelmat liittyvät juuri viimeisen laipan hitsaamiseen. Laippa joudutaan hitsaamaan kyyryssä. Laippaa on myös ensin kannateltava toisella kädellä. Korjausehdotuksena on annettu ulomman laipan pultti-kiinnitys. Kauha on nähtävissä kuvassa 4.16.



4.16 *Ongelma D7, kauhan kiinnityksen suojalaippa*

Ongelma D8, koeajon jälkeinen huolto sisältää jarrunpainesuodattimen ja voimansiirtosuodattimien vaihdon. Molemmat suodattimet ovat hankalissa paikoissa ja vaihtaminen on tehtävä kyyryssä. Työssä tarvitaan myös voimaa suodattimien aukaisussa, joten kehoon kohdistuu räsitusta huonossa asennossa. Voimansiirron suodattimen sijainti on nähtävissä kuvassa 4.17.

Ongelma D9, paineensäätötyö liittyy kokoonpanon loppuosaan. Paineensäätimet ovat hankalissa paikoissa koneen rungon sisällä. Niihin on kurkoteltava joko koneen päältä tai sivulta. Työhön ei liity suuria rasituksia, mutta paineita voi joutua säätämään myös myöhemmin esimerkiksi huoltojen yhteydessä, joten säätimien olisi hyvä olla helpommin ulottuvilla.



4.17 Ongelma D8, voimansiirron suodattimen sijainti

Ongelma D10, nivelakselin yhdistäminen etuakseliin joudutaan tekemään nostovarren alla pujottautuen ahtaaseen väliin ja osittain eturungon päällä maaten. Ahtaan välin muodostavat eturungon sisällä olevat tukilevyt. Nivelakselin pultit on kiinnitettävä yhdellä kädellä, koska kahta kättä ei mahdu käyttämään yhtä aikaa. Kaksi pulttia kiristetään yläpuolelta ja kaksi alapuolelta. Kiristys mahdutaan tekemään pulttipyssyllä, mutta momenttiin kiristäminen avaimella ei onnistu. Väli, jossa työ tehdään, on nähtävissä kuvassa 4.18.

Ongelma D11, huuhteluputkien asennus tehdään samassa välissä kuin ongelma D10. Putket on jälleen kiinnitettävä toisesta päästä maaten ahtaassa välissä. Toisesta päästä putket kiinnitetään pujottautumalla samaan väliin toista reittiä. Kiristys onnistuu jälleen vain yhdellä kädellä, jolloin olkapäähän kohdistuu rasitusta.

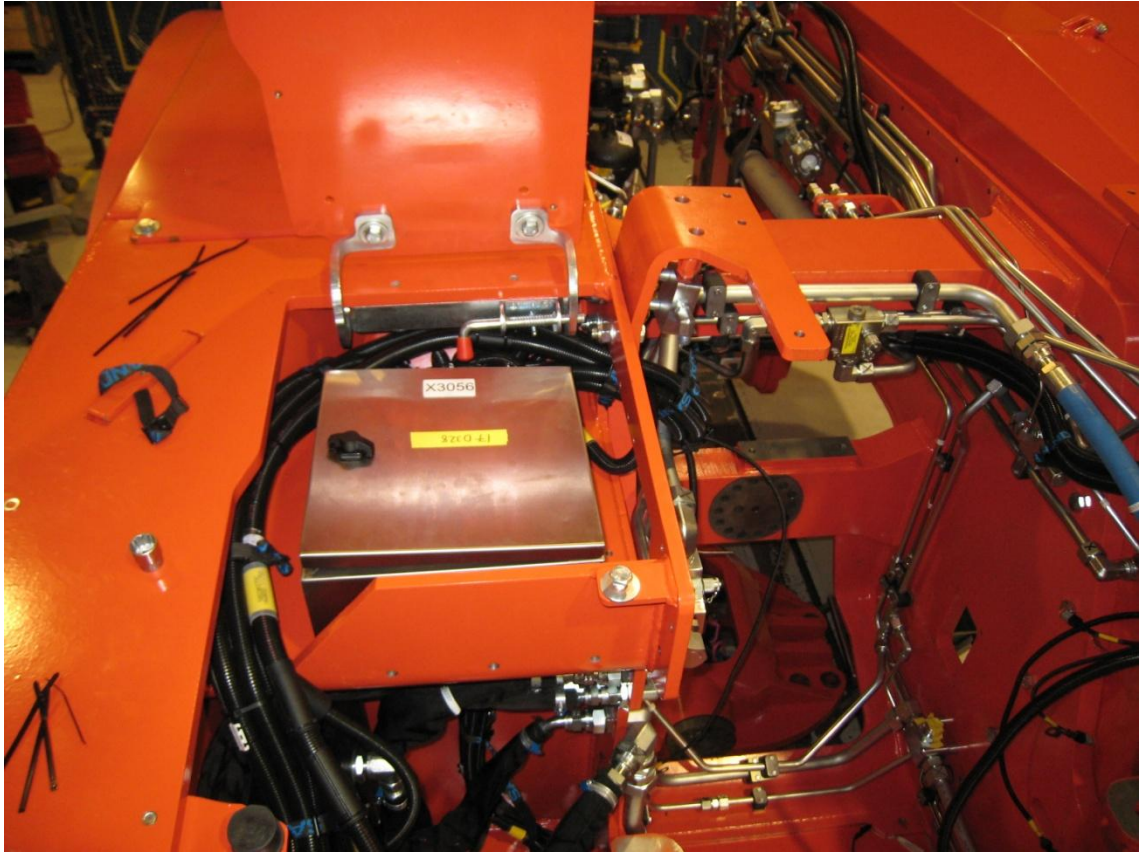
Ongelma D12, kipin alapään rasvapatterin asennus tehdään myös samassa välissä kuin ongelmat D10 ja D11. Rasvapatterin asennuksessa ei kuitenkaan tarvitse mennä nostovarren alle vaan asennus tehdään eturungon takakautta jälleen yhdellä kädellä. Rasvapatteri on kuitenkin pieni osa, joten sen asennuksessa ei tarvita suuria voimia.



4.18 Ongelma D10, D11 ja D12, väli, jossa nivelakseli ja akseli yhdistetään, huuhteluputket asennetaan ja kipin alapään rasvapatteri asennetaan

Ongelma D13, rasian X3056 asentaminen on sähköasentajien tehtävä. Rasia on valmiiksi kalustettu ja siinä on useita metrejä valmista kaapelointia, joten sen käsittely on hankalaa. Kaapelit on ensin niputettava ja rasia on kannettava käsin koneen päälle. Rasia on tehty ruostumattomasta teräksestä, joten siitä ei saa kiinni magneetilla, eikä siinä ole nostopaikkoja ketjuille tai nostoliinoille. Myös kantoreitti on erittäin hankala ilman selkeitä astinpaikkoja. Rasia sekä sen sijainti on nähtävissä kuvassa 4.19.

Ongelma D14, rasiaan X3065 liittyvät korjaukset joudutaan rasian sijoittelun vuoksi tekemään ahtaassa välissä ja huonossa asennossa. Lisäksi rasiasta lähtevät johdotukset menevät ahdasta reittiä koneen rungon välistä vaihdelaatikolle. Rasia asennetaan vain joihinkin koneisiin optioiden mukaan. Korjausehdotuksena on annettu rasian sijoituksen muuttaminen. Rasian sijainti on nähtävissä kuvassa 4.20.



4.19 Ongelma D13, rasia X3056 ja siitä lähtevät kaapelit



4.20 Ongelma D14, rasian X3065 sijainti

Myös dieselmootorilla varustetussa lastarissa on asentajien mukaan ergonomisia ongelmakohtia ympäri konetta nimettyjen ongelmien lisäksi, mutta pahimmat kohdat on kuitenkin pyritty nimeämään.

4.2.3 Neljän ongelmakohdan tarkastelu

Ongelmaan E1, jarrunvapautuspumpun asennus (kuva 4.1), ehdotettiin asentajien puolesta ratkaisuksi nostoapuvälineen kehittämistä. Tämä on kuitenkin ongelmallista osan muodon, painopisteen ja sijainnin vuoksi. Muodon ja painopisteen takia kappaleesta on hankala saada kiinni siten, että se nousisi oikeassa asennossa. Sijainti puolestaan aiheuttaa sen, että kappaletta ei voi nostaa suoraan ylhäältä päin.

Sähkötoimisesta lastarista vastaavan tuoteinsinöörin kanssa ideoitiin mahdollisuuksia vaihtaa osan paikkaa tai pienen ulokkeen kiinnittämistä runkoon, jolloin osa voitaisiin tukea siihen eikä sitä tarvitsisi enää kannatella käsin. Molemmissa tapauksissa on kuitenkin ongelmia. Osaa ei voi kokonsa puolesta siirtää kovinkaan paljon ilman, että joutuisi tekemään suuria muutoksia myös muiden osien sijoitusten ja ratkaisujen suhteen. Samalla myös kaikki jarrunvapautuspumppuun liittyvät putkitukset ja johdotukset muuttuisivat. Tukiulokkeen osalta ongelmaksi voi muodostua sopivien toleranssien saavuttaminen. Jos tukiuloke jossain tapauksessa kiinnitetään liian lähelle kiinnitysreikiä, osaa ei saada enää kiinnitettyä ilman koko ulokkeen poistamista. Toisaalta, jos uloke on liian kaukana rei'istä, osaa joudutaan kuitenkin kannattelemaan jonkin verran.

Eräs vaihtoehto on toteuttaa molemmat mahdollisuudet. Jarrunvapautuspumppua voisi siirtää siten, että saavutettavuus paranisi edes jonkin verran ja samalla sen alle voisi tehdä tukevan ulokkeen. Ulokkeen osalta toleranssi olisi kuitenkin tehtävä sellaiseksi, ettei uloke missään tapauksessa olisi liian lähellä kiinnitysreikiä. Tällöin uloke ei luultavasti tue kappaletta suoraan reikien kohdalle, mutta sen voi kuitenkin laskea lepäämään ulokkeen päälle ja osaa ei tarvitse koko aikaa kannatella. Näin ongelma ei korjaannu kokonaan, mutta tilanne kuitenkin helpottuu.

Ongelmat D10, D11 ja D12 eli nivelakselin yhdistäminen etuakseliin, huuhteluputkien asennus sekä kipin alapään rasvapatterin asennus (kuva 4.18) liittyvät kaikki samaan ongelmaan eli ahtaaseen kardaanitunneliin asennuspaikkana. Asentajat eivät ehdottaneet mitään tiettyä ratkaisua ongelmaan, mutta he huomauttivat, että samalla eturunkolinjalla tehtävässä pienemmän lastarin eturungossa ongelma ei ole läheskään yhtä vakava. Tämä johtuu eturungon sisempien tukilevyjen muotoilusta sekä osittain myös levyjen vahvuudesta.

Dieselmootorilla varustetusta lastarista vastaavan tuoteinsinöörin kanssa käydyssä keskustelussa selvisi, että pienemmän lastarin eturungon sisemmät levyt poikkeavat muodoltaan lujusvaatimusten vuoksi. Suuremmassa koneessa eturunkoon kohdistuvat räsitukset ja voimat ovat merkittävästi suurempia. Toisaalta tässä työssä tarkastellun dieselmootorilla varustetun lastarin eturunko perustuu hyvin pitkälti aikaisemman lastarimallin eturunkoon.

Ratkaisuvaihtoehtoina etenkin nivelakselin asennettavuuden parantamiseksi voisi olla oikein kohdennettujen asennusaukkojen tekeminen eturungon kylkiin. Ongelmana voi

kuitenkin olla juuri eturungon jäykkyyden ja kestävyysmuuttuminen. Lujuuksien laskeminen on toteutettava perusteellisesti, joten sen tutkiminen on laaja ja monimutkainen prosessi. Toinen vaihtoehto tilanteen helpottamiseksi voisi olla sisempien levyjen muotoilun muuttaminen vastaamaan enemmän pienemmän lastarin eturungon muotoja. Tällöin kuitenkin vastassa on samat lujuteen liittyvät ongelmat kuin asennusaukkojen tekemisessäkin. Levyjen vahvuuden tarkastelu on myös mahdollista, mutta se sisältää samat ongelmat kuin edeltävätkin vaihtoehdot. Tämän lisäksi näin saavutettava lisätila on melko vähäinen.

Huuhteluputkien asennukseen voidaan vaikuttaa tilan lisäämisen lisäksi mahdollisesti myös kiinnityspisteiden ja liitospaikkojen tarkastelulla ja muuttamisella. Tästä huolimatta putkien on kuitenkin kuljettava lopulta samaan paikkaan. Rasvapatterin osalta siirtäminen helpommin saavutettavaan paikkaan on luultavasti selkein ja helpoin ratkaisu. Siihen liittyviä muita muutoksia ovat vain putkien ja letkujen pituudet sekä kiinnityspaikka.

4.2.4 Ongelmien jakautuminen luokittain

Löydetyt ongelmat voidaan jakaa karkeasti kuuteen erilaiseen luokkaan:

- työ tehdään hartiatasolla tai ylempänä
- työ tehdään jalkojen tasolla tai alempana
- työssä joudutaan käsittelemään painavia osia etäällä kehosta
- työ joudutaan tekemään huonossa asennossa, mutta siihen ei sisälly suurta voimankäyttöä
- työ vaatii suurta voimaa
- työssä on kannettava painavaa tai vaikeasti käsiteltävää osaa

Luokat on muodostettu sen perusteella, miten työ kuormittaa kehoa. Kaikki löydetyt ongelmakohdat on jaoteltu omiin luokkiinsa taulukossa 4.5. Alleviivatut ongelmakohdat on merkitty useampaan kohtaan.

Taulukko 4.5 Ongelmakohdat jaoteltuna eri luokkiin

Ongelmaluokka	Luokkaan liittyvät ongelmakohdat
Työ tehdään hartiatasolla tai ylempänä	E2, E3, D1, D3, D4
Työ tehdään jalkojen tasolla tai alempana	E4, <u>E5</u> , E6, E7, D2, <u>D8</u> , D14
Työssä joudutaan käsittelemään painavia osia etäällä kehosta	E1, <u>D5</u>
Työ joudutaan tekemään huonossa asennossa, mutta siihen ei sisälly suurta voimankäyttöä	E8, E9, E10, D7, <u>D8</u> , D9, D10, D11, D12
Työ vaatii suurta voimaa	D6
Työssä on kannettava painavaa tai vaikeasti käsiteltävää osaa	<u>E5</u> , <u>D5</u> , D13

Jos työ joudutaan tekemään hartiatasolla tai jopa sen yläpuolella, kuormitus kohdistuu käsiin, hartioihin ja niskaan. Tähän luokkaan sijoittuvat ongelmat tarkoittavat yleensä koneen alla työskentelyä. Jalkojen tasolla tai alempana tehtävät työt sisältävät paljon kyyristelyä ja huonossa asennossa työskentelyä, jolloin koko kehoon aiheutuu rasitusta. Nämä työvaiheet liittyvät usein koneen päällä työskentelyyn. Painavien osien käsittely etäällä kehosta rasittaa hartioita, käsiä ja etenkin selkää. Näissä työvaiheissa osaa ei pystytä jostain syystä nostamaan paikoilleen nosturin avulla. Huonossa asennossa työskentely tarkoittaa kurottelua, kyyristelyä ja koko kehoon kohdistuvaa jännitystä. Tällöin koko keho rasittuu. Suurella työn vaatimalla voimalla tarkoitetaan työvaihetta, johon sisältyy maksimivoiman käyttöä. Tällöin keho rasittuu ja vahingoittumisen vaara kasvaa merkittävästi. Suurta voimaa käytettäessä hyvän asennon merkitys kasvaa. Jos osia on kannettava, niitä ei jostain syystä voida nostaa nosturilla. Osien suuren painon tai hankalan käsiteltävyyden takia rasitusta aiheutuu käsiin, hartioihin ja selkään sekä jossain määrin koko kehoon.

4.3 Tuoteinsinöörien haastatteluista saadut tulokset

Haastatteluissa kävi hyvin nopeasti selväksi, että asennusergonomian huomioiminen tuotesuunnittelussa on hankalaa. Kaivosteollisuudessa tunnelien koko tuo omat rajoitteensa laitteiden koolle, joten rajattuun tilaan joudutaan asentamaan suuri määrä tekniikkaa. Jo itse osien mahtuminen koneeseen tuottaa ongelmia, joten asennusergonomia ei aina ole mahdollista huomioida suunnittelun näkökulmasta. Asioita, joihin suunnittelussa voi ergonomian kannalta kiinnittää huomiota, ovat esimerkiksi nostopisteiden suunnittelu sekä yksittäisille osille että myös nostettaville osakokonaisuuksille. Näiden lisäksi merkintöjen on oltava selvät, jotta osia ja osakokonaisuuksia osataan nostaa oikeista pisteistä. Tällöin käsiteltävät kokonaisuudet saadaan heti nostettaessa oikeaan asentoon.

Suoraan asennusergonomiaan liittyviä ongelmia ei yleensä tule tuotekehityksen tietoon. Tietoon tulevat ongelmat koskevat tavallisesti yleisesti asennettavuutta, jolloin

myös huono ergonomia on usein osa ongelmaa. Kuitenkin asennettavuuteenkin liittyviä ongelmia saatetaan ilmoittaa vasta, kun asentaminen on käytännössä mahdotonta. Yleisimpiä tuotekehityksen tietoon tulevia ongelmia ovat jo mainittujen nostopisteiden puuttuminen tai väärä sijainti sekä ahtaissa väleissä tehtävät kiinnitykset.

Asennusergonomiaan pitäisi puuttua tuoteinsinöörien mukaan tuotannosta saatujen palautteiden kautta. Toisaalta huollettavuus on lähtökohtana sellainen, joka vaikuttaa automaattisesti myös asennettavuuteen ja sitä kautta myös ergonomiaan. Myös asennuspaikan saavutettavuus on tärkeä huomioitava asia. Kynnys suurien muutosten tekemiseen nykytuotesuunnittelussa on kuitenkin korkea, koska kaikkien vaikutusten huomioiminen voi olla hankalaa. Joissain tapauksissa asennusaukkojen tekeminen voisi helpottaa asennettavuutta, mutta myös tällöin kaikkien vaikutusten huomioiminen on ongelmallista. Koneen päällä tehtäviä asennuksia voidaan helpottaa suunnittelemalla as-
tinpaikkoja ja pisteitä, joihin asennuksen aikana voi tukeutua. Paikkoihin, joissa tarvitsee käyttää hydraulisia momentinvääntimiä, on suunniteltava selkeät tukipisteet, jotta laitteiden turhasta kannattelusta ja käsittelystä päästään eroon. Myös esimerkiksi pultti-
liitosten suunnat on merkittävä selkeästi, jotta asennukset saadaan tehtyä helpoiten ja suunnitellulla tavalla.

Selkein tapa, jolla tuotannosta tulee palautetta nykytuotekehitykselle, on sähköinen muutospyyntö eli ECR (kohta 3.1.6). Kuitenkin paljon huomioita tulee myös suullisesti tuoteinsinöörien kulkiessa tuotannon tiloissa tai suoraan puhelimella soittamalla. Yhteistyötä tehdään myös osien ensimmäisten asennusten yhteydessä. Tällöin pyritään tuotannon henkilöstön ja tuoteinsinöörien yhteistyöllä löytämään kaikki jäljelle jääneet ongelmat. Yhteistyötä tukeva kulttuuri on myös viime aikoina parantunut.

Tuoteinsinöörien mukaan ohjeistuksessa olisi hyvä huomioida painorajoja käsin nostoille konkreettisten rajojen avulla. Myös ohjeistus siitä, kuinka suuri osakokonaisuus on asennettavuuden ja ergonomian kannalta järkevä, koettiin tarpeelliseksi. Muita tärkeiksi koettuja asioita olivat ylimääraisten työvaiheiden poistaminen ja erikoistykälajien käytön saaminen pois varsinaisesta asennusvaiheesta.

Tuotannosta löydettyjen ongelmakohtien perusteella tuli esille mahdollisuus käyttää mallinnuksen yhteydessä apumalleja esimerkiksi työkaluille tarvittavien tilojen hahmotamiseen. Mallinnuksen kautta pitäisi kiinnittää huomiota myös isojen letkujen linjoihin sekä putkien asennusjärjestykseen. Tällä hetkellä kaikkia letkuja ja johtoja ei ole edes mallinnettu tai sitten mallinnuksia ei aina noudateta. Huonoihin asennusasentoihin voitaisiin osaltaan vaikuttaa paremmilla makuualustoilla, joilla saisi tuettua mahdollisimman hyvin koko kehoa. Myös mahdollisuutta säätää koneen korkeutta kokoonpanon aikana olisi hyvä tutkia. Selkeästi myös uustuotekehityksen ohjeistusta pitäisi tuoteinsinöörien mukaan tutkia.

4.4 Tuotesuunnittelun käyttöön tarkoitettu ohjeistus

Löydettyjen ongelmakohtien jakautumisesta luokkiin (taulukko 4.5) voidaan päätellä, missä suurimmat ongelmat kokoonpanossa ovat. Sitä kautta voidaan määrittää, mihin

asioihin suunnittelun keinoin pitäisi pyrkiä vaikuttamaan ensisijaisesti. Toisaalta on myös kiinnitettävä huomiota luokkien kuvauksiin. Tätä kautta voidaan päätellä, millaisia syitä kyseiseen luokkaan kuuluvien ongelmien taustalla on. Jos ongelmaan pystytään määrittämään selkeä tai edes osittainen aiheuttaja, tilannetta voidaan parantaa poistamalla tai muuttamalla aiheuttaja.

Suurin yksittäinen ongelmaluokka on ”Työ joudutaan tekemään huonossa asennossa, mutta siihen ei sisälly suurta voimankäyttöä”. Tähän luokkaan kuuluvissa työvaiheissa joudutaan kurottelemaan ja kyyristelemään, joten osien kiinnityspaikat ovat hankalasti saavutettavissa. Vaikka kyseessä on erillinen ongelmaluokka, seuraavat keinot sopivat osaltaan myös kaikkien muiden luokkien ongelmakohtien kehittämiseen. Tuotekehityksen keinoja asennettavuuden parantamiseksi ovat asennusjärjestysten suunnittelu, kiinnityspaikkojen sijainnin suunnittelu ja työkalujen mahtumisen varmistaminen. Asennusjärjestyksen suunnittelulla voidaan helpottaa pääsyä kiinnityspaikoille. Tämä tarkoittaa osien asentamista sellaisessa järjestyksessä, että kiinnityskohtien edessä on mahdollisimman vähän työtä hankaloittavia muita osia. Kiinnityspaikkojen sijainnin suunnittelulla tarkoitetaan kiinnityspaikkojen tuomista esimerkiksi osien muodon avulla mahdollisimman hyvin esille ja helposti saavutettaviksi. Työkalujen mahtumista voidaan tutkia tuoteinsinöörien esityksen mukaisesti tekemällä tarvittavista työkaluista apumalleja. Tarvittaessa pitäisi harkita asennusaukkojen tekemistä sitä vaativiin paikkoihin.

Suuruudeltaan toinen ongelmaluokka on ”Työ tehdään jalkojen tasolla tai alempana”, joka siis koskee käytännössä koneen päällä työskentelyä. Edellisessä kohdassa listattujen keinojen lisäksi tähän luokkaan kuuluvien ongelmien parantamiseksi suunnittelussa pitäisi huomioida sekä jalansijat koneiden päällä kulkiessa että paikat, joihin tukeutua työskennellessä. Jalansijojen ei tarvitse välttämättä olla erikseen suunniteltuja, vaan myös olemassa olevat sopivat tasot käyvät. Tarkoituksena on kuitenkin ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, missä ja millaisessa asennossa asentaja joutuu toimimaan, ja tehdä sen perusteella toiminta mahdollisimman helpoksi.

Kolmanneksi suurin ongelmaluokka on ”Työ tehdään hartiatasolla tai ylempänä”. Tähän liittyvät koneen alla tai alhaalla koneen sivustalla tehtävät työt, joissa asennus on tehtävä ainakin osittain pitämällä käsiä koholla. Tässä erittäin tärkeä seikka on tehdä osan paikalleen vieminen mahdollisimman helpoksi. Osaa pitäisi joutua kannattelemaan mahdollisimman vähän ja reitti lopulliseen paikkaan pitäisi tehdä mahdollisimman helpoksi. Kaikkea pujottelua ja etenkin raskaiden osien asettelua pieniin väleihin pitäisi pyrkiä välttämään.

Neljäs ongelmaluokka on ”Työssä on kannettava painavaa tai vaikeasti käsiteltävää osaa”. Painavien osien kantamista pitäisi yleisesti välttää työssä ja tämä pitäisi huomioida suunnitteleamalla kaikkiin osiin sopivat nostopaikat, joka tuli esille myös tuoteinsinööreiltä. Jos on mahdollista, että osaa on joka tapauksessa kannettava, siihen on suunniteltava tarkoituksenmukaiset kädensijat.

Viides ongelmaluokka on ”Työssä joudutaan käsittelemään painavia osia etäällä kehosta”. Jälleen tämän luokan ongelmia on mahdollista huomioida hyvin jo mainituilla

keinoilla. Lisäapuna voidaan kuitenkin suunnitella tukevia rakenteita, joiden avulla osia ei tarvitse kannatella ainakaan pitkiä aikoja tai joiden avulla asennus onnistuu mahdollisesti kokonaan ilman kannattelua.

Viimeisenä ongelmaluokkana on ”Työ vaatii suurta voimaa”, johon liittyen löydettiin vain yksi ongelmakeho. Tässä ongelmana on, että työ joudutaan tekemään käsin ja siinä tarvitaan erittäin suurta voimaa, jolloin loukkaantumisen mahdollisuus on myös suuri. Tähän ratkaisuna on työkalujen käytön mahdollistaminen, kuten myös tuoteinsinöörien haastatteluista ilmeni. Työkalujen mahtuminen sekä tarvittaessa tukeminen on mahdollistettava tilan ja sopivien sekä tarvittavien tukipisteiden avulla.

Ongelmaluokkien perusteella johdettujen kohtien sekä tuoteinsinöörien haastattelujen perusteella nykytuotesuunnittelun käyttöön saadaan muodostettua seuraava ohjeistus:

- Varmista asennusjärjestyksen järjestyys
- Suunnittele kiinnityspisteet helposti saavutettaviksi
- Varmista, että tarvittaville työkaluille on riittävästi tilaa ja tarvittavat tukipisteet
- Ota suunnittelussa huomioon, missä asennossa asentaja työskentelee
- Suunnittele tarvittavat jalansijat sekä tukipaikat
- Mahdollista osan vieminen helposti paikoilleen
- Suunnittele osiin riittävä määrä nostokohtia
- Suunnittele tarvittaessa asennusta helpottavia tukia tai rakenteita
- Suunnittele tarvittaessa osiin kädensijat kantamista varten

Ohjeistus kirjattiin Sandvik Mining Oy:n käyttöä varten viralliselle ohjepohjalle. Virallinen ohje on nähtävissä liitteessä 2.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Ergonomisten ongelmien painottuminen monivalintakysymyksissä

Sähkötoimisen lastarin osalta toteutetusta kyselystä saatujen monivalintakysymysten vastausten perusteella ei pysty tekemään päteviä johtopäätöksiä siitä, millä alueilla ergonomiset ongelmat valmistuksessa painottuvat. Kuitenkin, kun tuloksia vertaa dieselmoottorilla varustetun lastarin osalta toteutetun kyselyn tuloksiin, voidaan huomata yhdenmukaisuutta vastausten välillä. Vaikka koneet ovat rakenteeltaan ja osiltaan toisistaan poikkeavia, asennusergonomiaan liittyvät seikat ovat molemmissa koneissa melko samanlaiset. Näin ollen monivalintakysymyksistä saadut tulokset voidaan yhdistää.

Tuloksista käy selkeästi esille, että osien suunnitteluun on kiinnitettävä ergonomian kannalta enemmän huomiota. Kyselylomakkeessa kysyttiin osien käsiteltävyydestä, painosta ja asennettavuudesta ja jokaisen kohdan osalta oli selkeästi parannettavaa. Käsiteltävyyden pitäisi olla aina mahdollisimman helppoa, joten jos osan muoto sitä edellyttää, siihen pitäisi suunnitella myös käsiteltävyyttä helpottavia elementtejä. Helpottavat elementit voivat olla esimerkiksi tartuntaan sopivia pintoja tai kädensijoja. Osan painoon ei välttämättä ole aina mahdollista vaikuttaa, mutta tällöin on tärkeintä, että osaa on mahdollista nostaa nostoapuvälineellä. Hankalasti asennettava osa voi olla melko pieni ja kevyt, mutta hankalassa paikassa. Tällaisessa tilanteessa kohdistaminen paikoilleen tai kiinnittäminen voi aiheuttaa ongelmia. Jos osaa joutuu kannattelemaan kurotellen, esimerkiksi pulttien paikkojen löytäminen on vaikeaa ja keho joutuu rasitukselle. Osa pitäisi suunnitella siis ohjautumaan paikoilleen mahdollisimman helposti.

Työvaiheiden osalta lomakkeessa kysyttiin työskentelyasunnoista, kuormittumisesta, toistotyöstä sekä apuvälineiden tai apuhenkilön käytön mahdollisuudesta. Vastausten perusteella asennustyö näiden koneiden osalta ei sisällä juurikaan toistotyötä. Sen sijaan huonossa asennossa työskentely on selkeä ongelma, joten työasentoihin on kiinnitettävä huomiota. Pitkäkestoista kuormitusta on vastausten perusteella jonkin verran asennustyössä, mutta osa vastaajista ei kuitenkaan kokenut tätä suureksi ongelmaksi. Apuvälineiden ja apuhenkilöiden käyttö koettiin myös osittain mahdolliseksi, mutta osa vastaajista osoitti sen olevan joissain töissä mahdotonta.

5.2 Korjausmahdollisuuksista löydettyihin ongelmakohtiin

Asentajilta tuli useaan kohtaan korjausehdotuksena nostoapuvälineen tai muun aputyökalun kehittäminen työvaiheeseen. Tämä ei kuitenkaan ole täysin tuotekehityksen vas-

tuulla vaan myös tuotannonkehityksen. Tuotannonkehityksen tehtävänä on kehitellä tarvittaviin paikkoihin nostoapuvälineitä yhteistyössä tuotannon henkilöstön kanssa, mutta tarvittavien kiinnityspaikkojen suunnitteleminen ja lisääminen on tuotekehityksen vastuulla.

Kaikkiin ehdotettuihin ongelmakohtiin ei ole järkevää tehdä nostoapuvälinettä tai aputyökalua, vaan pääpainon pitäisi olla ongelmien poistamisessa luonnollisella tavalla eli suunnittelun keinoin. Tällä tarkoitetaan osan tai asennuksen kehittämistä sellaiseksi, että erikoistyökaluja tai poikkeavia työmenetelmiä ei tarvita lainkaan. Tätä tukee myös se, että jo aputyökalujen varastointi muodostuu jossain vaiheessa ongelmalliseksi. Niiden aputyökalujen osalta, joita ei voida poistaa, pitäisi tutkia niiden kehittämistä mahdollisimman moneen tarkoitukseen sopiviksi.

Muutamaan ongelmaan on ehdotettu parempia ja säädettävämpiä makuualustoja ja asennustasoja. Nämä ovat jälleen tärkeitä mahdollisuuksia helpottaa asennustyötä, mutta ne kuuluvat enemmän tuotannonkehityksen tehtäväalueeseen. Sama koskee myös työjärjestysten korjauksia ja muutoksia. Yhteistyö tuotannonkehityksen ja tuotekehityksen välillä on kuitenkin erittäin tärkeää näissä tapauksissa, koska asennettavuuden huomiointi kuitenkin kuuluu myös tuotekehityksen vastuualueisiin. Ajatuksena on siis mahdollistaa mahdollisimman hyvä asennettavuus ensin tuotekehityksen keinoin ja tämän jälkeen parantaa sitä vielä tarvittaessa tuotannonkehityksen toimesta.

Tuoteinsinöörien haastatteluista ei saatu suoria ratkaisuja löydettyihin ongelmiin. Tulosten perusteella on nähtävissä, että yksinkertaisia ratkaisuja ei ole tai ainakaan niiden ideointi ei ole helppoa. Toisaalta myöskään ongelmat eivät ole yksinkertaisia. Joihinkin ongelmiin pystytään kehittämään ratkaisu nopeastikin, mutta etenkin ahtauden takia yksittäiset muutokset eivät ole mahdollisia, vaan pienten yksittäisten muutosten takia joudutaan tarkastelemaan vaikutuksia koko järjestelmään.

5.3 Ongelmakohtien luokittelusta ja ohjeistuksen muodostamisesta

Ongelmakohtien luokittelulla ongelmakohdat saatiin lokeroitua, ja kuhunkin luokkaan sijoittuvien ongelmakohtien määrän mukaisesti on mahdollista laittaa luokat tiettyyn järjestykseen. Tämä järjestys on kuitenkin puhtaasti kvantitatiivinen, eikä ota kantaa ongelmien laadullisiin ominaisuuksiin. Tämän takia yhtään luokkaa ei voi jättää huomioidamatta, vaikka siinä olisi vain yksi ongelma-kohta. On varauduttava siihen, että mikä tahansa ongelma-kohta voi olla laadullisesti vakavin.

Luokat on nimetty löytyneiden ongelmakohtien perusteella ja ongelmakohtien sijoittelu eri luokkiin on tehty täysin subjektiivisin perustein. Näin ollen löytyneistä tuloksista on mahdollista muodostaa myös erilaisia mahdollisia jakoja ja luokitteluja. Tässä työssä käytetyssä jaossa, luokkien välillä on joitakin päällekkäisyyksiä, mutta erot muodostuvat tarkoitukseen sopivien kriteerien mukaan.

Tuotesuunnittelun ohjeistus saatiin muodostettua ongelmaluokkien avulla kehittämällä ohjeita tai tapoja huomioida koko luokkaa koskevia ongelmia. Luokat toimivat

siis erilaisina näkökulmina, joiden avulla ongelmia voidaan korjata. Tästä seuraa kuitenkin hyvin yleisen tason ohjeita, joiden tarkoitus on ennemmin herättää ajattelemaan erilaisia ergonomiaa huomioivia ratkaisuvaihtoehtoja kuin antaa suoria ratkaisuja ongelmiin.

Tuoteinsinöörien toiveena oli saada tiettyihin ongelmiin eksakteja ohjeita. Eräs tällainen ongelma oli painorajojen määrittäminen käsin nostoille. Kyseisten rajojen määrittäminen on kuitenkin ongelmallista, koska asiaan vaikuttaa niin paljon työntekijöiden yksilölliset ominaisuudet. Jonkun työntekijän voimat ja ruumiin rakenne saattavat mahdollistaa kaksinkertaisen painon käsittelyn verrattuna toiseen työntekijään. Toisaalta samaan asiaan vaikuttaa käsiteltävien kappaleiden painopiste, nostokorkeus ja käsiteltävyys, joten yleispäteviä rajoja on mahdotonta muodostaa. Myös muiden ergonomiaan liittyvien suunnitteluongelmien ratkaisemiseksi on hyvin hankala muodostaa tarkkoja ohjeita. Näin kaikki ongelmat pitäisi aina käsitellä tapauskohtaisesti.

Yleisen tason ohjeistus mahdollistaa uusien huomioiden ja innovatiivisuuden säilymisen suunnittelussa. Samalla pystytään havaitsemaan ja ratkaisemaan avoimemmin myös täysin uusia ongelmia, kun ratkaisua muodostettaessa systeemiä on tarkasteltava laajemmin.

5.4 Ohjeistuksen sijoittuminen tuotekehitysprosessissa

Uustuotekehityksessä asennusergonomia on huomioitava heti alustamisvaiheesta (kuva 3.3) lähtien, kun tuotteen vaatimuksia listataan. Tämän jälkeen vaatimukset on tuotava tarkemmin teknisinä vaatimuksina suunnitteluvaiheessa. Toteutusvaiheessa on mahdollista hyödyntää varsinaista ohjeistusta, kun vaatimusten mukaan aletaan muodostaa varsinaista tuotetta. Asennusergonomia kuitenkin kulkee prosessissa kaikkien muiden vaatimusten rinnalla, joten on oletettava, että myös sen suhteen joudutaan tekemään kompromisseja ja myönnytyksiä. Tämä ajatusmalli liittyy osaltaan Brobergin (1997) toiseen tapaan yhdistää ergonomia tuotekehitysprojektiin, jossa tärkeimmät vaatimukset ovat neuvottelukysymyksiä. Etenkin tällöin varhain huomioitujen vaatimusten vahva asema korostuu.

Nykytuotekehityksessä ohjeistuksen käyttö painottuu eri tavalla, koska muutospyyntöjä voi tulla jatkuvasti. Ohjetta voidaan soveltaa heti asennusergonomiaa koskevien ongelmien tullessa esille. Toisaalta vuosimallimuutosten yhteydessä asennusergonomia pitäisi huomioida samaan tapaan kuin uustuotekehityksessä. Vuosimallimuutoksen analysointivaiheessa (kuva 3.6) tehdään hieman vastaavat toimenpiteet kuin uustuotekehityksen alustamisvaiheessa. Asennusergonomian vaatimuksia pitäisi jälleen kehittää suunnitteluvaiheessa ja varsinaisen ohjeistuksen hyödyntäminen onnistuu toteutusvaiheessa.

5.5 Tulosten hyödyntäminen

Työn tulokset on kerätty nykytuotteiden valmistuksesta ja nykytuotesuunnittelusta, mutta niistä on saatavissa arvokasta tietoa myös uustuotekehitykseen. Jos lähtökohtana on, että tehtyjä virheitä ei toisteta, kaikki löydetty ongelmat pitäisi käydä tarkasti läpi ja niistä saatavat yksityiskohtaiset tiedot pitäisi raportoida. Olemassa olevista konemalleista paljastuvat ongelmat ja epäkohdat pitäisi kerätä järjestelmällisesti yhteen paikkaan, josta ne voidaan uutta mallia suunniteltaessa sisällyttää sopivassa muodossa vaatimustoihin. Mahdollisuuksien mukaan ongelmia pitäisi huomioida ja korjata jo vuosimallimuutosten yhteydessä.

Tulosten perusteella tuotannosta on löydettävissä paljon asennettavuuteen liittyviä ongelmia, joista vain osa on saatu raportoitua tämän työn puitteissa. Jokaisella kyselykierroksella paljastui aina uusia huomioita asennettavuuteen liittyen. Näiden osalta olisi kannattavaa muodostaa järjestelmä tietojen jatkuvaa keräämistä ja raportointia varten. Tätä kautta asennusergonomian ja valmistettavuuden kehittäminen olisi jatkuvaa ja järjestelmällistä.

Tuotesuunnitteluun kehitetty ohjeistus soveltuu sekä nykytuote- että uustuotekehityksen käyttöön. Ohjeistus on muodostettu nykytuotteista löydettyjen ongelmien perusteella, joten myös ohjeen hyödyntäminen uustuotesuunnittelussa tukee sitä ajatusta, että aiemmin tehtyjä virheitä pyritään välttämään. Tuloksellisesti ohjeen hyödyntäminen voi olla jopa helpompaa uustuotekehityksen puolella, koska siellä muutosten tekeminen on vielä vapaampaa.

Ohjeistus muodostettiin ergonomian näkökulmasta, mutta sitä voidaan hyödyntää yhtä lailla myös valmistettavuuden parantamisessa. Erittäin monessa kohdassa nämä kaksi asiaa kulkevatkin rinnakkain. Pelkän ergonomian parantumisen kautta ei välttämättä saavuteta suoria taloudellisia hyötyjä, mutta valmistettavuuden kautta pystytään vaikuttamaan läpimenoaikoihin ja sitä kautta myös taloudelliset hyödyt tulevat esille kuten myös Sundin et al. (2004) on todennut.

Brobergin (1997) neljä tapaa yhdistää ergonomiaa tuotekehitysprojektiin ovat kukin edelleen käyttökelpoisia. Sandvikin käyttöön näistä soveltuu parhaiten kolmen tavan yhdistelmä. Asennusergonomian tehokas huomiointi vaatii osaltaan sen huomioimisen suunnitteluvaatimuksena. Toisaalta ergonomian asiantuntijoiden ja suunnittelijoiden yhteistyötä on kehitettävä tai suunnittelijoille on luotava muuten riittävät edellytykset asennusergonomian huomioimiseksi. Myös tuotannon henkilöstöltä saatavia palautteita ja ideoita on hyödynnettävä tehokkaasti. Sundin et al. (2004) korostaa myös yhteistyön tärkeyttä tuotekehitysprojektin työryhmän ja tuotannon henkilöstön välillä. Tämän työn puitteissa huomattiin, että tuotannon henkilöstön kanssa tehdään yhteistyötä, mutta vaihtelevalla aktiivisuudella ja varsinaista yhtenäistä toimintatapaa ei ole. Toisaalta asennusergonomiaa tai ylipäänsä asennettavuutta koskevaa palautetta on hankala saada tuotannosta. Tällaisen tiedon keräämiseksi pitäisi muodostaa sopiva toimintatapa ja kulttuuria sen noudattamiseksi pitäisi alkaa vahvistaa.

Tiedon keräämistä ja etenkin tiedon kulkemista pitää vahvistaa osastojen välillä. Tieto asennusergonomiaan ja asennettavuuteen liittyvistä ongelmista selviää parhaiten tuotannosta, joten sieltä on järkevintä kerätä kyseistä tietoa. Tiedon keräämisen jälkeen kaikki kerätty materiaali pitää tuoda kaikille sitä tarvitseville saatavaksi. Tuotannosta saatavaa tietoa pystytään hyödyntämään ainakin tuotannonkehityksessä, nykytuotekehityksessä ja uustuotekehityksessä. Tämän lisäksi etenkin nykytuotekehityksen ja tuotannonkehityksen välinen kommunikointi ja yhteistyö ovat erittäin tärkeitä. Tuotannonkehityksen tehtävänä on ratkaista niitä asennettavuuteen liittyviä ongelmia, joita tuotesuunnittelussa ei ole pystytty välttämään. Yhteistyön avulla ongelmien ratkaiseminen voi kuitenkin helpottua. Nykytuotekehityksen ja uustuotekehityksen välillä on oltava tieto siitä, mitä ongelmia nykytuotekehityksessä on korjattu ja toisaalta mitkä ovat niin suuria ongelmia, ettei niitä voida siellä korjata.

Arvokasta tietoa voidaan saada myös asiakasrajapinnasta, huollosta ja alihankkijoilta. Tiedon keräämistä myös näistä lähteistä pitäisi vahvistaa ja toisaalta myös tiedon jakaminen on tärkeää jo toimitettujen koneiden osalta. Etenkin alihankkijat voivat tuottaa asennettavuuteen liittyvää tietoa ja huollosta saatava tieto taas liittyy sekä loppukäyttäjän että kokoonpanon toiminnan parantamiseen.

5.6 Ergonomian huomioimisen jatkuva kehittäminen

Aikaansaatu ohjeistus on kyseisen aihealueen ensimmäinen koskien Turun tehtaan toimintoja. Siten ohjeistuksen soveltuvuutta tarkoitettuun käyttöön on tutkittava käytännössä ennen kuin sen toimivuutta voidaan analysoida. Tietyn ajan jälkeen käytettävyydestä ja soveltuvuudesta ongelmien ratkaisemiseen olisi kuitenkin hyvä paneutua, jotta ohjeen kehittäminen olisi mahdollista.

Mahdollisuuksien mukaan vastaavan toiminnan selvittäminen muissa teollisuuden yrityksissä voisi tuoda kehittämisideoita koskien myös Turun tehtaan toimintoja. Jatkuvan kehittämisen onnistumiseksi asennusergonomiaan liittyvään toimintaan on kuitenkin nimettävä vastuuhenkilö tai toiminta on muuten sisällytettävä selkeällä tavalla organisaation toimintaan. Jos toimenpiteet eivät ole selkeitä, mahdollisuudet kehitykseen ovat pienet.

5.7 Tulosten laajuus ja tavoitteiden täytyminen

Työssä löydettiin tuloksia riittävästi, jotta niiden perusteella voitiin päätellä suurimmat ongelma-alueet tuotannossa olevista kahdesta koneesta. Konkreettisia ongelmia listattiin molemmista koneista monipuolisesti ja asennusergonomian tilaa pystyttiin tutkimaan riittävän laajasti. Näin voidaan todeta, että ensimmäinen tavoite onnituttiin täyttämään. Konkreettisia ratkaisuja ei pystytty muodostamaan tämän työn puitteissa, vaikka neljää ongelmakohtaa tutkittiin tarkemmin. Yksikään löytyneistä ongelmista ei ollut kuitenkaan yksinkertaisella suunnittelun keinolla ratkaistavissa.

Toisen tavoitteen mukaisesti löytyneiden ongelmakohtien perusteella onnistuttiin muodostamaan ohjeistus suunnittelun käyttöön. Ohjeistus hyväksyttiin yrityksen puolesta nimetyn työn ohjaajan toimesta, mutta ohjeistuksen toimivuutta ja käytettävyyttä ei ole mahdollista arvioida ennen kokeiluja käytännössä. Ohjeistuksen kuitenkin ollessa ensimmäinen laatuaan voidaan todeta myös toisen tavoitteen täyttyneen riittävällä tasolla.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä tutustuttiin ergonomiaan ja tuotekehitykseen liittyvään perusteoriaan sekä aiheeseen liittyvistä artikkeleista löytyvään tutkimustietoon. Tämän jälkeen tutkittiin, miten tuotekehitys toimii Sandvik Mining Oy:n Turun tehtaalla ja huomioidaanko työssä asennusergonomiaa. Työn tavoitteiden mukaisesti tarkasteltiin tehtaalla valmistettavissa kahdessa lastauskoneessa esiintyviä asennusergonomiaan liittyviä ongelmia ja tähän liittyen kerättiin myös konkreettisia ongelmakohtia yhteistyössä tuotannon henkilöstön kanssa. Ongelmakohtista muutama tarkasteltiin lähemmin. Ongelmakohdat luokiteltiin ja tämän sekä tuoteinsinöörien haastatteluista saatujen tulosten perusteella muodostettiin ohje asennusergonomian huomioimiseksi tuotekehityksessä.

Löydettyjen tulosten perusteella Turun tehtaalla valmistettavissa koneissa on runsaasti asennusergonomiaan liittyviä ongelmia. Ongelmia ei kuitenkaan koeta niin vakaviksi, että tuotannon henkilöstö antaisi niihin liittyen aktiivisesti palautetta. Oman vaikutuksensa ongelmien syntymiseen luo myös koneiden fyysiset rajoitteet, joiden takia ahtaaseen tilaan on mahdutettava erittäin suuri määrä tekniikkaa. Myöskään ergonomian huomiointi ei ole aiemmin ollut kovin suuren huomion kohteena. Toisaalta vaikuttaa siltä, että asennusergonomian huomioiminen on jäänyt lähinnä tuotannonkehityksen harteille aputyökalujen ja asennusohjeiden tekemisen muodossa. Ongelmiin on kuitenkin mahdollista vaikuttaa myös suunnittelun keinoin. Tuotannonkehityksen ja tuotekehityksen yhteistyön kautta ongelmien huomioimista on mahdollista kehittää kaikkein tehokkaimmin. Tähän liittyen myös tuotannosta kerättävä palaute on erittäin tärkeää.

Tuotekehityksen käyttöön muodostetun ohjeistuksen avulla tuoteinsinööreillä ja suunnittelijoilla on nyt apuväline ongelmien selvittämiseksi. Ohjeistuksen ollessa ensimmäinen versio sen toimivuutta on tarkkailtava käytännössä ja tulosten sekä palautteiden mukaan siihen on tehtävä tarkoituksenmukaisia muutoksia. Vain tällä tavoin asennusergonomian huomioiminen ja parantaminen voi olla jatkuvaa ja kehittyvää toimintaa. Ohjeistus on nyt osittain muodostettu subjektiivisesti tehdyn luokittelun perusteella, joten ohjeistuksen toimivuuden arvioinnissa myös tämä seikka on huomioitava. Jos ohjeistuksen avulla saavutetut tulokset eivät ole tyydyttäviä tai jos ohjeistuksesta ei saada riittävää hyötyä, ohjeistuksen muodostamisen perusteita voi olla syytä muuttaa.

Vaikka työssä löydettyjä konkreettisia ongelmakohtia on jo hyödynnetty ohjeistuksen muodostamisessa, ne on syytä silti tarkastella kaikki vielä erillisinä ongelmina. Ongelmalistaukset on saatettava sekä tuotekehityksen että tuotannonkehityksen tietoon, ja listojen perusteella on tehtävä toimintasuunnitelma ongelmien käsittelystä. Ongelmat ovat selkeitä asennettavuutta heikentäviä seikkoja, joihin pitäisi pyrkiä löytämään korjaavia toimenpiteitä. Asennusergonomian parantumisen lisäksi asennettavuuden paran-

taminen tuo myös taloudellisia hyötyjä läpimenoaikojen lyhentyessä. On myös oletettava, että samanlaisia ongelmia esiintyy myös muissa kuin kahdessa tutkitussa konemallissa.

Tämä diplomityö toimii hyvänä taustatutkimuksena asennusergonomian huomioimisen parantamiseksi. Tulokset luovat hyvän kuvan vallitsevasta tilanteesta ja ne myös rohkaisevat tutkimaan aihetta lisää. Tutkimusta ei kannata toteuttaa samassa muodossa enää uudestaan, vaan tuloksia kannattaa hyödyntää jatkokehittelyjen toteuttamisessa. Ongelmakohtien havaitsemiseksi pitäisi kehittää järjestelmällinen menetelmä ja henkilöstöä pitäisi rohkaista myös toimimaan sen mukaan. Tämä tarkoittaa osaltaan myös asennusergonomiaa huomioivan kulttuurin vahvistamista yrityksessä. Toisaalta tuotekehityksen käyttöön pitäisi kehittää joko tämän työn tuloksena saadun ohjeistuksen perusteella tai täysin uusin perustein muodostettu ohjeistus, jonka avulla asennusergonomiaan liittyviä ongelmia voidaan välttää ennaltaehkäisevästi.

LÄHTEET

Broberg, O. 1997. Integrating ergonomics into the product development process. *International Journal of Industrial Ergonomics*. vol. 19. p. 317-327.

Broberg, O., Andersen, V., Seim, R. 2011. Participatory ergonomics in design processes: The role of boundary objects. *Applied Ergonomics*. vol. 42. p. 464-472.

Johnson, K. 2010. *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann. 342 p.

Launis, M., Lehtelä, J. 2011. *Ergonomia*. Työterveyslaitos. 406 s.

Morel, G., Amalberti, R., Chauvin, C. 2009. How good micro/macro ergonomics may improve resilience, but not necessarily safety. *Safety Science*. vol. 47. p. 285-294.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.H. 2007. *Engineering Design*. 3rd ed. Springer. 617 p.

Product Development Institute Inc. 2011. Stage-Gate – Your Roadmap for New Product Development. [WWW]. [Viitattu 25.10.2011]. Saatavissa: <http://www.prod-dev.com/stage-gate.php>

Rantanen, K. 2002. TRIZ -menetelmän hyödyntäminen tuotekehityksen ajatusmallina. Helsinki. Metalliteollisuuden keskusliitto MET. 129 s.

Sandvik. 2012a. About Sandvik. [WWW]. [Viitattu 21.3.2012]. Saatavissa: <http://www.sandvik.com/>

Sandvik. 2012b. About us. [WWW]. [Viitattu 21.3.2012]. Saatavissa: <http://mining.sandvik.com/>

Sandvik. 2012c. Sandvik Mining Suomi. Intranet.

Sundin, A., Christmansson, M., Larsson, M. 2004. A different perspective in participatory ergonomics in product development improves assembly work in the automotive industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*. vol. 33. p. 1-14.

Työterveyslaitos. 1992. *Teollisuusergonomia*. Käsikirja suunnitteluun. Helsinki. 301 s.

Työterveyslaitos. 2002. *Työkuormitus ja sen arviointimenetelmät*. Helsinki. 59 s.

Työterveyslaitos. 2009. Työpaikan ergonomian tarkastusohje. Helsinki. 15 s.

Työterveyslaitos. 2011a. Ergonomian arviointi ja kehittämismenetelmiä. [WWW]. [Viitattu 30.9.2011]. Saatavissa:

<http://www.ttl.fi/fi/ergonomia/menetelmat/Sivut/default.aspx>

Työterveyslaitos. 2011b. Mitä ergonomia on? [WWW]. [Viitattu 21.9.2011]. Saatavissa:

http://www.ttl.fi/fi/ergonomia/mita_ergonomia_on/Sivut/default.aspx

Työturvallisuuskeskus. 2003. Työsuojelulla hyvinvointia ja tulosta I-III. Helsinki. 149 s.

Työturvallisuuskeskus. 2010. Työturvallisuus ja työterveys työpaikalla. 1. painos. Helsinki. 80 s.

Työturvallisuuslaki. 738/2002. [WWW]. [Viitattu 28.9.2011]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>

Ulrich, T., Eppinger, S. 2008. Product Design and Development. 4th ed. McGraw-Hill/Irwin. 368 p.

Valtioneuvoston päätös käsin tehtävistä nostoista ja siirroista työssä. 1409/1993.

[WWW]. [Viitattu 6.10.2011]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931409?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=nostot>

Vink, P., Koningsveld, E., Molenbroek, J. 2006. Positive outcomes of participatory ergonomics in terms of greater comfort and higher productivity. Applied Ergonomics. vol. 37. p. 537-546.

Väyrynen, S., Nevala, N. & Päivinen, M. 2004. Ergonomia ja käytettävyys suunnittelussa. Teknologiateollisuus ry. 336 s.

Liite 1: Tuotannon kyselylomake

Ergonomisten ongelmien selvitys tuotannossa, syksy 2011

Linja 1 / Solu 4.5; tarkasteltava konetyyppi: LH517 / LH514E

Oletko mekaniikka-asentaja vai sähköasentaja? (ympyröi oikea vaihtoehto)

Työkokemus vuosissa tämän konetyypin kanssa: _____

- | | |
|--|------------|
| 1. Onko koneessa osia tai osakokonaisuuksia, jotka | k/e |
| a) ovat hankalia käsitellä(hankala muoto, ei kädensijoja, liukas,...)? | ___ |
| b) ovat painavia? | ___ |
| c) ovat hankalasti asennettavia(kohdistaminen tai kiinnittäminen hankalaa,...)? | ___ |

Kuvaa ongelmia tarkemmin:

- | | |
|---|------------|
| 2. Onko valmistuksessa työvaiheita, joissa | |
| a) on työskenneltävä huonossa asennossa(kyykyssä tai kyyryssä, nivelet ääriasennossa,...)? | ___ |
| b) kuormittuminen kestää pitkään(lihakset väsyvät,...)? | ___ |
| c) on paljon toistuvia liikkeitä? | ___ |
| d) ei ole mahdollista käyttää apuvälinettä tai toista henkilöä apuna tarpeesta huolimatta(esim. nostotilanne,...)? | ___ |

Kuvaa ongelmia tarkemmin:

Miten puutteet olisivat korjattavissa? Jatka tarvittaessa kääntöpuolelle.

Liite 2: Virallinen ohje asennusergonomian huomioimiseksi tuotekehityksessä



1 OHJEISTUKSEN TARKOITUS JA KÄYTTÖ

Tämän ohjeistuksen tarkoituksena on antaa näkökulmia erilaisten ergonomisten ongelmien selvittämiseksi. Tarkkoja ohjeita ei ole annettu, koska asennusergonomiaan liittyviä ongelmia voidaan ratkaista monin eri tavoin. Ohjeistuksessa on listattuna ongelmatyyppejä ja niistä annetaan joitain esimerkkejä. Ohjeistus on tarkoitettu tuotesuunnittelun käyttöön.

2 OHJEISTUS

2.1 Varmista asennusjärjestyksen järkevyy

- Voiko asennusjärjestyksen avulla helpottaa pääsyä kiinnityspaikoille?

2.2 Suunnittele kiinnityspisteet helposti saavutettaviksi

- Tuo kiinnityspaikka hyvin esille esimerkiksi osan muotojen avulla

2.3 Varmista, että tarvittaville työkaluille on riittävästi tilaa ja tarvittavat tukipisteet

- Tarkista esimerkiksi työkaluista tehtyjen apumallien avulla
- Esimerkiksi paineilmatyökalut, momentinvääntimet
- Onko asennusaukkojen teolle perusteita tai mahdollisuuksia?

2.4 Ota suunnittelussa huomioon, missä asennossa asentaja työskentelee

- Vältä asennuksia, jotka on tehtävä ääriasennoissa

2.5 Suunnittele tarvittavat jalansijat sekä tukipaikat

- Hyödynnä olemassa olevia tasoja
- Esimerkiksi koneen päällä työskentely

2.6 Mahdollista osan vieminen helposti paikoilleen

- Vältä kannattelun ja pujottelun tarvetta
- Pyri mahdollistamaan osan luonnollinen ohjautuminen oikeaan kohtaan
- Esimerkiksi ahtaat välit ja koneen alla työskentely

2.7 Suunnittele osiin riittävä määrä nostokohtia

- Huomioi osat ja osakokonaisuudet erikseen
- Huomioi myös osan nouseminen oikeassa asennossa

2.8 Suunnittele tarvittaessa asennusta helpottavia tukia tai rakenteita

- Vältä jälleen tilanteita, joissa painavia osia on kannateltava käsin

2.9 Suunnittele tarvittaessa osiin kädensijat kantamista varten

- Suunnittele kuitenkin aina myös nostopaikat nostoketjuja tai liinoja varten

Muutos Revision	Päiväys x.x.xxxx	Muuttaja N.N.	Hyväksyjä N.N.
Alkuperäinen Original	Päiväys 3.4.2012	Laatija Timo Turta	Hyväksyjä Jarkko Laine